

95
Вильгельмъ Оствальдъ.

473
149
ИСТОРІЯ ЭЛЕКТРОХИМІИ.

Переводъ съ нѣмецкаго Г. А. Котляра.

Книгоизд-ство „Образованіе“, Спб.
1911.

Глава первая.

Введение.

Съ давнихъ поръ упрекали естествоиспытателей въ томъ, что они слишкомъ мало интересуются исторіей своей науки. Въ то самое время, когда чуть ли не все преподаваніе философіи въ университетахъ свелось къ изложенію ея исторіи, исторія той или другой дисциплины естествознанія излагалась съ университетской кафедрой лишь въ крайне рѣдкихъ случаяхъ. И когда какой нибудь, любящій свое дѣло и трудолюбивый, приватъ-доцентъ предпринималъ попытку въ этомъ родѣ, то пустующая аудиторія очень быстро убѣждала его въ практической бесполезности предпріятія.

Чѣмъ же объясняется этотъ фактъ? Лежитъ ли причина его въ особо ненаучномъ характерѣ естествоиспытателей? Послушать нѣкоторыхъ людей, оно именно такъ и есть. Усматриваютъ же нѣкоторые признаки возвращенія на стезю добродѣтели въ склонности,—все болѣе и болѣе усиливающейся въ настоящее время,—заняться и исторіей естественныхъ наукъ. Но стоитъ только вспомнить, сколь велики заслуги этихъ столь третируемыхъ естествоиспытателей не только въ специальныхъ областяхъ ихъ науки, но и въ сферѣ общечеловѣческой культуры, чтобы устыдиться этого пребрежительнаго тона по отношенію къ нимъ. Ясно, что если естествоиспытатели не очень-то интересова-



лись исторіей своей науки, то у нихъ были, очевидно, достаточныя къ тому основанія. И если они въ настоящее время начинаютъ ей интересоваться, то и на это, надо думать, у нихъ есть достаточныя основанія.

Правда, весьма возможно, даже вѣроятно, что эти основанія тому или другому отдѣльному естествоиспытателю и не были вполне ясны. Наука давно уже стала организмомъ съ собственной своей жизнью, въ которой отдѣльные изслѣдователи участвуютъ приблизительно такъ, какъ отдѣльная клѣтка въ жизни цѣлаго организма. Только немногія изъ многочисленныхъ функций организма возложены на эту клѣтку, и только немногія изъ другихъ клѣтокъ организма находятся въ непосредственной связи съ ней. При всемъ томъ и ея функція имѣетъ свое значеніе для всего организма, и если она лишь съ немногими другими клѣтками находится въ непосредственной связи, то зато посредственно она связана со всѣми другими живыми клѣтками. Выражаясь безъ метафоръ, это значитъ, что отдѣльный изслѣдователь можетъ съ успѣхомъ работать только въ небольшой области всей науки, связь же этой работы съ общей работой человѣчества—связь, несомнѣнно существующая,—не всегда имъ сознается, а нѣкоторымъ никогда, пожалуй, и въ голову не приходитъ. Если, поэтому, въ какой нибудь области знанія не обнаруживается замѣтной склонности къ изученію ея исторіи, то причину этого слѣдуетъ въ общемъ искать въ томъ обстоятельстве, что въ этой области нѣтъ еще нужды въ той помощи, которую это изученіе можетъ оказать. До открытія спектральнаго анализа Бунзеномъ и Кирхгофомъ ни одна призма не попадала въ химическую лабораторію (потому что она была бы тамъ бесполезна). Вотъ точно такимъ же образомъ и исторіи науки нѣтъ мѣста въ мысляхъ научнаго изслѣдователя, покуда онъ

не можетъ ей воспользоваться, какъ орудіемъ для своей работы.

Сказаннымъ я кратко и опредѣленно объявляю исторію ничѣмъ инымъ, какъ только средствомъ изслѣдованія. Она даетъ методъ для открытія истины или для развитія науки, но не является сама предметомъ научной работы. Или если она и является предметомъ научной работы, то не какъ исторія, по крайней мѣрѣ. Каждое средство изслѣдованія, чтобы стать пригоднымъ для своихъ цѣлей, тоже нуждается въ научной разработкѣ. Термометръ или гальванометръ, напримѣръ, прошли черезъ длинный и сложный рядъ преобразованій и улучшеній, созданныхъ научными работниками, прежде, чѣмъ они достигли того совершенства, какого отъ нихъ требуетъ современная наука. Но, вѣдь, вызвалъ бы однѣ насмѣшки тотъ физикъ, который, посмотрѣвъ на выработку хорошаго термометра, какъ на „довлѣющую себя цѣль“, посвятилъ бы себя этой работѣ, совершенно не считаясь съ практическимъ значеніемъ этого аппарата.

Этотъ взглядъ нашъ на исторію науки, какъ на средство изслѣдованія, признается далеко не всѣми. Одинъ изъ виднѣйшихъ историковъ прошлаго поколѣнія, Л. Ранке, часто и совершенно опредѣленнымъ образомъ объявлялъ изученіе исторіи вообще,—подъ которой, кстати сказать, и по настоящее время еще подразумѣваютъ преимущественно исторію государствъ и конституцій,—самодовлѣющей цѣлью. Въ виду этой цѣли онъ самымъ рѣшительнымъ образомъ отклонялъ всякое примѣненіе исторіи для какихъ-либо другихъ цѣлей, всякія другія задачи исторіи, кромѣ установленія того, „какъ собственно все происходило“. Но противъ этого взгляда на исторію, противъ объявленія ея „немощности“ стали раздаваться голоса и въ исторической наукѣ въ употребительномъ до сихъ поръ

смыслъ. Правда, голоса-то эти сначала требовали одного: вмѣсто, такъ называемаго, объективнаго описанія того, что происходило въ дѣйствительности, они желали разсматривать событія, какъ результаты условій, связанныхъ между собою причинной связью. На основаніи біогенетическаго основнаго закона объ аналогіи между развитіемъ рода и развитіемъ индивидуума (закона, извѣстнаго уже Фурье и Контю), Геккель попытался возсоздать исторію развитія живыхъ существъ и въ тѣ времена, о которыхъ у насъ объективныхъ доказательствъ не имѣется. Такимъ же образомъ и современные историки, и среди нихъ прежде всего Карлъ Лампрехтъ, пытались возсоздать въ широкихъ чертахъ развитіе общечеловѣческой психики или коллективной души на основаніи данныхъ о развитіи психики ребенка. Такъ удалось въ положительномъ смыслѣ рѣшить вопросъ, возбуждавшій такъ много споровъ,—вопросъ о возможности историческихъ законовъ,—и рѣшить его при помощи объективнаго доказательства ихъ существованія. Но, вѣдь, все это все же остается исторіей ради исторіи, хотя, правда, проблемой является уже не отдѣльное событіе, а закономерность всего историческаго процесса вообще.

Должна ли, хочетъ ли исторія, какъ наука, на этомъ остановиться? Нѣтъ, безъ сомнѣнія! Уже потому нѣтъ, что это невозможно. Всякая общая или свободная наука черпаетъ свои права на существованіе въ возможности такъ или иначе оказаться полезной человечеству въ качествѣ науки прикладной. Конечно, не слѣдуетъ заниматься наукой исключительно съ той цѣлью, чтобы непосредственно превращать свои знанія въ деньги, хотя, правда, не мало найдется людей, которые съ негодованіемъ отвергнутъ такую характеристику ихъ работы, между тѣмъ какъ въ дѣйствительности они занимаются своей специальностью только потому,

что это даетъ имъ необходимыя средства къ жизни. Однако, лучшимъ и наиболѣе плодовитымъ научнымъ изслѣдователямъ удалось достичь своихъ великихъ успѣховъ только потому, что они имѣли непосредственный живой интересъ къ самому содержанію своей работы. А такъ какъ великій успѣхъ науки вполне зависитъ отъ существованія этого интереса, то послѣдній, наоборотъ, есть необходимое условіе развитія науки. Но въ высшей степени замѣчательно то, что изслѣдователи эти, почти всѣ безъ исключенія, въ молодости воодушевлялись этимъ интересомъ при рѣшеніи тѣхъ или другихъ конкретныхъ, практическихъ задачъ и только съ теченіемъ времени, по мѣрѣ дальнѣйшаго (правда, весьма быстраго) развитія ставили себѣ проблемы, соотвѣтственно болѣе широкія и важныя. Такъ, дерево познанія гигантски разрослось въ свободной стихіи чистой науки, но корни его были и остались въ твердой почвѣ человѣческихъ потребностей и человѣческой дѣятельности.

Правда, практической исторіей занимались не профессора университета — это не ихъ дѣло! — а великіе государственные дѣятели. Но, вѣдь, всѣ эти творческіе умы, распоряжавшіеся судьбами народовъ, должны же были откуда нибудь знать, какъ это дѣлать, ибо изъ глубины своего духа они не могли же почерпнуть технику обращенія съ людскими массами. И мы отъ нихъ самихъ знаемъ, что они ревностно, правда, по своему, занимались изученіемъ исторіи. Для этого во всякомъ случаѣ необходимо прежде всего знать, что происходило раньше, и съ этой точки зрѣнія (но только съ этой) требованіе Ранке имѣетъ свой смыслъ. Это, дѣйствительно, необходимое условіе, необходимая предварительная работа, какъ необходимо заострить ножъ, прежде чѣмъ приступить къ вырѣзыванію какой

нибудь фигуры. Но, вѣдь, заостреніе ножа не есть „довлѣющая себѣ цѣль“, а вся работа имѣетъ свой смыслъ, когда вырѣзывается опредѣленная фигура. И если принять въ соображеніе, что эта подготовительная работа исторіи по самому существу своему никогда не можетъ быть закончена, то нельзя не сказать себѣ: можно до извѣстной степени обойтись и безъ нея. Вѣдь, иначе и великіе государственные дѣятели не могли бы воспользоваться неочищенной исторіей, какъ она предлагалась имъ. Объясняется это тѣмъ, что закономѣрности всѣхъ явленій, а слѣдовательно, и историческихъ, именно потому и признаются закономѣрностями, что онѣ постоянно и одинаково повторяются въ потокѣ отдѣльных явленій. Если, поэтому, то или другое свѣдѣніе исторіи оказывается неточнымъ или неполнымъ, то выступаетъ все же въ концѣ концовъ изъ многихъ независимыхъ свѣдѣній общее или закономѣрное. Такъ и количественный законъ природы получается изъ наблюденныхъ отдѣльных чиселъ, хотя ни одно изъ этихъ послѣднихъ не можетъ претендовать на полную точность, будучи не свободно отъ той или другой ошибки наблюденія, тѣмъ большей обыкновенно, чѣмъ новѣе по своему характеру открытіе, къ которому оно приводитъ.

Такимъ образомъ и тѣ „историки-практики“ сумѣли позаимствовать изъ матеріала исторіи руководящее начало для собственныхъ своихъ дѣйствій, и успѣхъ, котораго они достигли, доказываетъ, что заключенія ихъ были правильны или, выражаясь осторожнѣе, содержали въ себѣ кое-что правильное. Вотъ такимъ же образомъ слѣдуетъ смотрѣть на интересъ современныхъ естествоиспытателей къ историческимъ изслѣдованіямъ. Изслѣдователи эти или, по крайней мѣрѣ, тѣ изъ нихъ, которые интересуются исторіей своей науки, нашли въ ней дѣйствительно полезное средство для

опредѣленныхъ цѣлей, чѣмъ и было доказано ея право на существованіе.

Подъ вліяніемъ общепринятой оцѣнки исторіи, далекой отъ всякой мысли о какойнибудь служебной роли ея, многіе усмотрятъ, можетъ быть, униженіе ея въ нашемъ къ ней отношеніи, въ требованіи доказать полезность ея. Они, можетъ быть, скажутъ, что именно въ свободѣ отъ „грубой“ полезности и заключается идеальная сторона науки—исторіи. Вѣдь, говорятъ же то же самое и о другихъ еще пережиткахъ средневѣковой схоластики, утвердившихся въ нашихъ школахъ и университетахъ; именно этимъ стараются не только объяснить ихъ существованіе, но поставить ихъ даже выше естественныхъ наукъ. Противъ этого слѣдуетъ прежде всего возразить, что если свобода отъ всякой пользы есть признакъ идеальнаго, то человѣкъ, сидящій въ креслѣ, сложа руки, долженъ быть почитаемъ, какъ величайшій идеалистъ, ибо онъ почти достигъ наибольшаго въ этомъ отношеніи. Здѣсь, очевидно, смѣшивается общее понятіе пользы съ понятіемъ полезности для какого-нибудь одного человѣка. Нѣтъ лучшаго опредѣленія для человѣка нравственнаго, какъ-то, что такой человѣкъ ни во что не ставитъ личную пользу ради пользы общества. Мы восторгаемся героемъ, идущимъ на вѣрную смерть, чтобы спасти своихъ согражданъ, но мы сочли бы человѣка сумасшедшимъ, если бы онъ подвергъ себя опасности безъ всякой пользы. Однимъ словомъ, то, что не приноситъ никакой пользы обществу, есть игра или нѣчто худшее, а потому и всякое занятіе наукой только тогда можетъ разсчитывать на уваженіе и содѣйствіе со стороны общества, когда оно докажетъ, что оно, по меньшей мѣрѣ, можетъ оказаться полезнымъ для общества.

Вернемся, однако, къ вопросу о полезности исторіи для естествоиспытателя. Чѣмъ она можетъ оказаться

полезной для него? Если вдуматься въ дѣло совершенно безпристрастно, намъ прежде всего не можетъ не придти въ голову слѣдующее соображеніе. Ученые прежняго времени, какъ люди, не были, конечно, свободны и отъ слабостей людскихъ. Не свободенъ отъ нихъ и самый геніальный изслѣдователь. Поэтому, они кое-что дали намъ хорошее и правильное, но и кое-что плохое—неправильное. Хорошее присоединилось къ общей сокровищницѣ знаній человѣческихъ, а негодное было забыто. Такъ время отдѣлило плевелы отъ пшеницы, и эта послѣдняя была нами тщательно перемолота и испечена въ хлѣбъ насущномъ нашихъ учебниковъ. Начинаящий ученый пусть ѣстъ этотъ хлѣбъ; ошибки только путали и задерживали бы его.

Этотъ выводъ нашъ предполагаетъ двѣ предпосылки, правильность которыхъ намъ нужно изслѣдовать прежде всего. Во 1-хъ, предпосылку, что мы отъ изслѣдователей прежнихъ временъ можемъ научиться только тому фактическому и объективному, что они оставили намъ въ видѣ новыхъ научныхъ фактовъ и законовъ. Во 2-хъ, то, что операція отдѣленія плевелъ отъ пшеницы, совершенная „временемъ“, т. е. работавшими съ того времени учеными и въ особенности авторами учебниковъ, на самомъ дѣлѣ была выполнена съ предполагаемой въ данной аргументаціи точностью. И то, и другое предположеніе не вѣрно, и, такъ какъ разсмотрѣніе второго потребуетъ меньше времени, мы раньше имъ займемся.

Читая давно забытое оригинальное сочиненіе какого-нибудь великаго изслѣдователя стараго времени, вы, къ своему изумленію, находите въ немъ далеко не одно только то, что перешло отсюда въ учебники. Нѣтъ, рядомъ съ этимъ вы находите еще множество вещей, о которыхъ вы раньше не подозревали. Это и понятно: между великой книгой и сред-

нимъ человѣкомъ, какимъ въ большинствѣ случаевъ бываетъ авторъ учебника, существуетъ опредѣленное отношеніе. Я сравнилъ бы такого автора съ ситомъ, задерживающимъ крупныя зерна. Но автоматически это не дѣлается, и авторъ учебника производитъ при этомъ свою оцѣнку содержанія книги. Хотя авторъ учебника живетъ позже автора великой книги и взялъ свое отъ успѣховъ науки за протекшій періодъ времени, тѣмъ не менѣе вполне умѣстенъ вопросъ: настолько ли онъ превосходитъ того великаго автора, что критика его, дѣйствительно, будетъ пропорціональна по своей силѣ значенію изложенныхъ въ той книгѣ идей? Поставить этотъ вопросъ—значить отвѣтить на него отрицательно. Очевидно, слѣдовательно, что, собирая пшеничныя зерна, сито можетъ пропустить крупыцы золота, для распознаванія которыхъ оно не имѣетъ даже соотвѣтствующаго органа. И эти крупыцы золота остаются въ томъ основномъ сочиненіи до тѣхъ поръ, покуда не придетъ человѣкъ, родственнѣе по духу въ томъ или другомъ отношеніи тому великому ученому, и узнаетъ особую цѣнность этихъ незамѣченныхъ до него крупыцъ. Онъ объявитъ тогда о своемъ открытіи, а послѣ этого его замѣтятъ и авторы учебниковъ, и оно станетъ достояніемъ всѣхъ.

И этотъ процессъ не сразу доводится до конца, а продолжается нѣкоторое время, тѣмъ большее, чѣмъ больше тотъ великій ученый опередилъ свою эпоху. Это и есть та большая независимость отъ времени, которую столь охотно называютъ безсмертіемъ генія. Совершенно безсмертнымъ въ этомъ смыслѣ не бываетъ и самый великій человѣкъ, ибо ассимиляція человѣчествомъ всего сдѣланнаго имъ съ теченіемъ времени становится все полнѣе и полнѣе. Но если дѣло идетъ объ очень великомъ человѣкѣ, то какой-нибудь счастливчикъ (по дарованіямъ или склонностямъ) можетъ

разсчитывать открыть въ его сочиненіи незамѣченное до него зерно чистаго золота и по истеченіи столѣтій и даже, можетъ быть, тысячелѣтій.

Этимъ намѣчена весьма важная и непосредственная польза, которую можетъ принести исторія науки. Вѣдь, именно изъ нея мы можемъ почерпнуть индивидуальное знакомство съ былыми великими учеными. Именно она знакомитъ насъ въ общихъ чертахъ съ тѣмъ, какого рода была ихъ работа, и къ кому изъ нихъ мы должны обратиться, если мы хотимъ изучить тотъ или другой вопросъ. Такъ, мы знаемъ, напримѣръ, что изъ философовъ того времени, съ котораго начался новый расцвѣтъ точныхъ наукъ, мы всего больше можемъ разсчитывать найти не размѣненное золото у Лейбница.

Отсюда самъ собою намѣчается планъ работы въ этой части исторіи науки. Нуженъ прежде всего обзоръ существующей цѣнной литературы, и важно здѣсь изъ личной исторіи великихъ ученыхъ изучить и установить то, что всего больше могло бы содѣйствовать ассимиляціи ихъ наслѣдія въ настоящее время. вмѣстѣ съ тѣмъ необходимо это наслѣдіе сдѣлать доступнымъ, если не вообще познакомить лишь съ нимъ людей, для чего необходимы новыя изданія и переводы ихъ сочиненій и тому подобная частная работа. Само собою разумѣется, что изданія эти должны быть выпущены со всею необходимою тщательностью, остерегаясь при этомъ внести въ свои работы ошибку, совершенную до тѣхъ поръ общей исторіей.

Ошибка эта объясняется недостаточной оцѣнкой изслѣдованнаго объекта. Нѣкоторыми отдѣлами исторіи занимались не столько потому, что результатъ такой работы можетъ имѣть извѣстную цѣнность для выясненія того или другого важнаго дѣла, сколько для того, что бы найти примѣненіе весьма развитымъ методамъ критики и сравненія текстовъ. Такое ребяче-

ское отношеніе къ дѣлу осталось намъ и въ другихъ областяхъ отъ младенческой поры науки. Таково, напримѣръ, и изслѣдованіе, какой авторъ первый употребилъ то или иное слово. Само по себѣ очевидно, совершенно безынтересно, у кого первый разъ встречается слово, и, наоборотъ, весьма важно доказательство происхожденія и развитія опредѣленнаго понятія. Дѣло въ томъ, что изъ той сферы идей, изъ которой оно когда-то выкристаллизовалось, мы найдемъ въ немъ, какъ мы ниже убѣдимся неоднократно, крупинки, такъ сказать, изъ его былого маточнаго раствора. Эти крупинки, съ одной стороны, уменьшаютъ, конечно, кристаллическую чистоту его, но зато, съ другой стороны, и впоследствии служатъ доказательствомъ его связи съ другими идеями. Знаніе этой связи окажется впоследствии весьма полезнымъ, когда приступлено будетъ къ работѣ дальнѣйшаго логическаго развитія этого понятія и дальнѣйшаго его освѣщенія.

Въ виду сказаннаго мы въ нашей исторической работѣ не станемъ возстановлять со всею тщательностью все и всякіе элементы прошедшаго только потому, что это—прошедшее, совершенно не взирая на значеніе той или другой проблемы. Нѣтъ, мы полагаемъ, что исчерпывающе полное возрожденіе прошлаго невозможно и не нужно, такъ что уже простая необходимость заставляетъ насъ ограничивать себя. При этихъ условіяхъ рѣшающимъ моментомъ въ нашей работѣ должно быть современное значеніе тѣхъ цѣнностей прошлаго; это уже простое требованіе здраваго смысла.

Такъ мы установили основные принципы нашего метода работы, а равно и критики прежнихъ работъ этого рода. Подобно всякой другой истинной наукѣ, и эта наука по природѣ своей неисчерпаема, и приходится, поэтому, дѣлать выборъ, руководствуясь принципомъ экономіи (въ высшемъ значеніи этого слова).

Этимъ мы исчерпали первый пунктъ. Остается еще задаться слѣд. вопросомъ: чѣмъ объясняется тотъ фактъ, что извѣстныя эпохи въ развитіи науки совсѣмъ не интересуются ея исторіей, а всю свою энергію тратятъ на открытіе новыхъ цѣнностей. Объясняется это извѣстнымъ психологическимъ состояніемъ, которое выразилъ путешественникъ І. Кукъ (не тотъ, что ѣздилъ къ сѣверному полюсу), отказавшись взять съ собою существующія карты. Онъ самъ уже увидитъ, если что тамъ будетъ, заявилъ онъ. Въ пору младенчества ни одна наука не свободна отъ такого настроенія. Именно то обстоятельство, что это дѣйственная земля, которую надо только обработать, обуславливаетъ то, что вопросъ о возможныхъ обработкахъ въ прошломъ вообще даже не возникаетъ. Впоследствии же, когда первое волненіе ученаго, сдѣлавшаго открытіе, проходитъ, большей частью обнаруживается, что кое-что, до извѣстной степени сходное съ этимъ, было сдѣлано или, по крайней мѣрѣ, задумывалось и раньше. Тогда многіе (и преимущественно люди, обиженные при новой жатвѣ науки) начинаютъ оспаривать новизну сдѣланныхъ открытій. Это, конечно, несправедливо и тѣмъ болѣе несправедливо, чѣмъ болѣе здѣсь прогрессъ науки. Въ самомъ дѣлѣ, если всѣ эти вещи столь легко было найти въ литературѣ прошлаго, что и открывать здѣсь нечего было, то почему подобные критики не познакомили міръ съ этими цѣнностями?

Таково, слѣдовательно, общее правило: историческими изслѣдованіями занимаются тѣмъ меньше, чѣмъ болѣе проникнута творческимъ духомъ эпоха и соответствующая область науки. Что же касается естественныхъ наукъ, то именно девятнадцатый вѣкъ былъ той эпохой, когда человѣчество не успѣло еще привыкнуть къ

обилію новыхъ открытій, число которыхъ возрастало какъ будто непрерывно. Нельзя сказать, чтобы ХХ вѣкъ сталъ въ этомъ отношеніи бѣднѣе. Нѣтъ, напротивъ, какъ онъ ни молодъ еще, и онъ можетъ похвастать многими. Но дѣло въ томъ, что поколѣнія, жившія подъ вліяніемъ этого новаго духа, съ теченіемъ времени и постепенно приспособились къ своимъ новымъ условіямъ духовнаго существованія, и то, что нашимъ дѣдамъ и прадѣдамъ казалось чрезвычайно рискованнымъ, захватывающимъ духъ, наше время встрѣчаетъ, если не спокойно, то съ ничѣмъ не нарушаемой радостью. Возможно, что отчасти, но только отчасти, этимъ объясняется и новый интересъ къ исторіи науки. Другую же часть слѣдуетъ искать въ другомъ мѣстѣ, и она имѣетъ вполне современный характеръ. Этимъ мы пришли ко второму пункту нашихъ общихъ разсужденій.

Этотъ второй пунктъ касается пользы, которую мы можемъ извлечь изъ изученія исторіи науки, когда знаніе прошлаго позволяетъ намъ такъ направить свои дѣйствія, чтобы извлечь изъ науки возможно больше пользы. Попробую выяснитъ свою мысль на хорошо извѣстномъ примѣрѣ.

Въ былыя, давно минувшія времена осенній сборъ полевыхъ продуктовъ разсматривался, какъ даръ высшихъ существъ. Такъ какъ одинъ годъ приносилъ богатую жатву, а другой—скудную, а случалось, что многообѣщающій урожай не оправдывалъ возлагавшихся на него надеждъ изъ-за градобитія, слишкомъ частыхъ дождей, засухъ или вредныхъ насѣкомыхъ,—то человечество постепенно привыкло искать въ этихъ процессахъ вліяніе произвольнаго фактора, имѣющаго рѣшающее значеніе, и умиловленіе этого фактора стало считаться существеннымъ средствомъ для полученія хорошаго урожая. Этимъ объясняется какъ все многообразіе празднествъ всякаго рода послѣ сбора урожая,

какъ и все великое значеніе, которое они имѣли. Празднества эти были связаны, какъ извѣстно, со всевозможными жертвоприношеніями (часто, правда, имѣвшими лишь символическое значеніе). Съ этимъ возрѣніемъ было неразрывно связано и недовѣріе къ другимъ мѣрамъ, которыя могли-бы усилить и обезпечить хорошій урожай, помимо соотвѣтственныхъ боговъ. Въ книгѣ Фрица Рейтера *Ut mine Stromzeit* ясно обрисовано это недовѣріе сельскаго хозяина къ новымъ улучшениямъ, и даже самъ авторъ смотритъ на Либиха съ его проектами въ этомъ смыслѣ, какъ на чловѣка полусмѣшного, полуопаснаго. Я самъ вспоминаю интересный разсказъ, который мнѣ привелось читать, когда я учился въ начальной школѣ: стояла сильная засуха; одинъ сельскій хозяинъ вмѣсто того, чтобы обратиться съ молитвой къ Богу, сталъ искусственно орошать свое поле; его трудъ увѣнчался какъ будто успѣхомъ, ибо хлѣбъ хорошо поднялся; потомъ, однако, колосья оказались пустыми; сосѣдъ же его, усердно посѣщавшій церковь, получилъ недурной урожай, ибо, хотя колосья были сухіе, зерна оказались особенно тяжелыми.

Въ настоящее время мы не вѣримъ больше въ боговъ—покровителей земледѣлія, но зато тѣмъ болѣе вѣримъ въ искусственное удобреніе, и результатъ отъ этого таковъ, что производительность страны возросла сравнительно съ прошлой во много разъ.

Но существуетъ извѣстное сходство между отношеніемъ нашихъ предковъ къ земледѣлію и нашимъ отношеніемъ къ производству духовныхъ благъ. Правда, мы не предоставляемъ въ настоящее время все и всецѣло естественнымъ дарованіямъ и естественному развитію, а воспитываемъ нашихъ дѣтей въ школѣ, стремясь развить и усилить ихъ духовныя силы. Нельзя также отрицать того, что мы добились и извѣстнаго успѣха

въ этомъ отношеніи. Но тотъ, кто пытается проникнуть въ законы духовнаго развитія, не можетъ не усмотрѣть въ современной нашей системѣ воспитанія, въ особенности, въ среднихъ школахъ, въ гимназіяхъ и подобныхъ имъ учебныхъ заведеніяхъ нѣчто крайне примитивное—систему, при которой всѣ головы по одной и той же схемѣ набиваются матеріаломъ давно устарѣвшей культуры. И когда эта система особенно хорошихъ результатовъ не даетъ, то головы просто признаются „плохими“. Вмѣсто этого учителю слѣдовало-бы задаться вопросомъ: какія ошибки онъ совершилъ въ выборѣ метода или въ его примѣненіи, вслѣдствіе чего получились столь плохіе результаты.

Вотъ тутъ-то и выступаетъ историческое изученіе, какъ почти единственное средство, которое можетъ внести столь настоятельно необходимыя улучшения. Вѣдь, въ области педагогической методъ экспериментирования можетъ примѣняться лишь съ извѣстной осторожностью. Въ особенности, вы врядъ ли станете пробовать такой методъ, о которомъ вы заранѣе предполагаете, что онъ долженъ принести вредныя послѣдствія,—съ той только цѣлью, чтобы экспериментально доказать этотъ вредъ. Но если такой методъ уже примѣнялся въ теченіе извѣстнаго времени, потому что его считали полезнымъ, то историческое изученіе его дѣйствія можетъ возмѣстить экспериментъ. Такое возмѣщеніе должно быть признано тѣмъ болѣе цѣннымъ, что опыты производились безъ предубѣжденія насчетъ ожидавшагося результата—болѣе того: ожидался даже противоположный результатъ!—такъ что результаты должны показаться особенно убѣдительными.

Такой педагогическій экспериментъ, произведенный въ крупныхъ размѣрахъ, мы и имѣемъ въ Германіи въ нео-гуманизмѣ, подъ вліяніемъ котораго находится, какъ извѣстно, на протяженіи жизни вотъ уже

трехъ поколѣній преподаваніе въ среднихъ школахъ. Въ основѣ его лежитъ мысль, что верхъ человѣческаго совершенства былъ достигнутъ древними греками и римлянами, и что намъ, потомкамъ ихъ, нѣтъ никакого другого пути къ собственному нашему совершенству, кромѣ наилучшаго ознакомленія съ дѣлами и особенностями тѣхъ народовъ.

Каковъ же результатъ этого эксперимента? Доказательство полной негодности нео-гуманизма для созданія какой бы то ни было дѣйствительной культуры. Всего больше можно было бы ожидать такого успѣха въ дѣлѣ искусства, и именно чрезвычайное почтеніе великихъ поэтовъ XVIII вѣка къ греческому искусству подготовило, какъ извѣстно, почву для нео-гуманизма въ школѣ XIX вѣка. Въ настоящее время врядъ ли кто-нибудь изъ тѣхъ, кому это вѣдать надлежитъ, сомнѣвается, что то, чего требовалъ Шиллеръ — „при помощи силы мысли... какъ бы извнутри себя и рачіональнымъ путемъ творить въ Греціи“ — то, что онъ предполагалъ существующимъ у Гетте, дало лишь нежизнеспособные плоды, а все истинно живое въ нашемъ искусствѣ (стоитъ вспомнить, на примѣръ, чудесное развитіе нашей музыки, которое, къ счастью, не имѣло античныхъ образцовъ) развилось и выросло не искусственно въ Греціи, а естественно, на собственной нашей почвѣ.

Но и для науки та же почва оказалась чрезвычайно непригодной. Я доказалъ уже въ другомъ мѣстѣ *), что именно великіе изслѣдователи и творцы культуры нашего времени, почти всѣ безъ исключенія, провели свою юность въ болѣе или менѣе жестокой борьбѣ противъ школьнаго гуманизма, въ особенности противъ

*) Grosse Männer. Leipzig. Akademische Verlagsgesellschaft. 1909.

безплоднаго изученія латыни, и добились своихъ успѣховъ не благодаря вліянію школы, а вопреки ему. Стоитъ только на моментъ вдуматься, какой глубокой переверотъ во всей системѣ нашего преподаванія произвелъ этотъ выводъ изъ историческаго изученія, чтобы сейчасъ же усмотрѣть всю громадную практическую пользу отъ историческихъ изслѣдованій.

Но изслѣдованія эти даютъ не только отрицательные результаты или указанія на то, чего дѣлать не слѣдуетъ, ими можно достичь и положительныхъ результатовъ. Если вы занимаетесь изученіемъ условій, при какихъ развивались тѣ или другіе великіе ученые или цѣлая группа ихъ, вы знакомитесь также и съ условіями, которыя благоприятствовали ихъ развитію, и ту часть этихъ условій, урегулированіе которой лежитъ въ предѣлахъ человѣческой власти, вы можете постараться использовать наилучшимъ образомъ. И здѣсь примѣръ изъ области земледѣлія будетъ поучителенъ. Географическое положеніе мѣста и зависящія отъ него климатическія условія человѣкъ измѣнять не можетъ. Но, изучая спеціальныя, біологическія особенности различныхъ разновидностей растенія, которое онъ хочетъ развести, онъ получаетъ возможность разводить въ данномъ мѣстѣ и въ данное время именно тѣ виды его, которые должны дать наиболѣе богатую и наиболѣе цѣнную жатву. Такъ, напр., систематическими улучшеніями удалось почти вдвое увеличить содержаніе сахара въ свекловицѣ. Такимъ образомъ, изъ одного и того же количества солнечной энергіи, — одно изъ превращеній которой мы имѣемъ, какъ извѣстно, въ сахаръ, — мы, благодаря человѣческимъ усиліямъ, получаемъ двойное количество этой полезной формы ея.

Въ равной мѣрѣ мы должны имѣть возможность соотвѣтственно повысить урожай высшаго продукта въ

саду человечества, — творческого гения человека, — для чего необходимо тщательное изучение его биологических особенностей и условий его среды. Видимъ же мы ясно, что нѣкоторые европейскіе народы, внутренняя политика которыхъ была направлена противъ развитія независимаго научнаго мышленія, не ставятъ работниковъ на нивѣ современной науки и въ настоящее время, когда бывшія препятствія отпали или весьма ослабли, по крайней мѣрѣ. Отсюда ясно, что дѣйствительно можно совершенно уничтожить въ населеніи существующіе въ этомъ направленіи задатки. Но то, что удалось въ отрицательномъ направленіи, должно быть возможно и въ направленіи положительномъ. И этому мы можемъ найти въ исторіи поразительные примѣры. Такимъ образомъ это не утопія, когда современная наука ставитъ себѣ задачей установить законы воспитанія духовныхъ силъ человечества. Но необходимымъ условіемъ для этого является знаніе исторіи. Только на этомъ фундаментѣ можетъ быть созданъ цѣлесообразный планъ опытовъ, который можетъ быть осуществленъ на дѣлѣ со многими шансами на успѣхъ.

Этими краткими указаніями я долженъ здѣсь удовольствоваться. Они достаточны, чтобы показать, что есть основаніе и цѣль заниматься изученіемъ исторіи наукъ. Имѣя въ виду эту цѣль, мы сможемъ также оградить себя отъ ошибокъ и заблужденій, которыя не безъ основанія дискредитировали въ глазахъ естествоиспытателей преждее изученіе исторіи, ибо мы будемъ въ состояніи различать между важнымъ и неважнымъ и не затрачивать нашу энергію на безполезныя мелочи.

Обратимся теперь къ спеціальному предмету, историческое развитіе котораго мы хотимъ нарисовать въ общихъ чертахъ въ настоящей книгѣ. Онъ представляетъ собой извѣстный интересъ съ нѣсколькихъ точекъ зрѣнія. Во-первыхъ, вся эпоха его развитія сжа-

лась въ одно короткое столѣтіе (ибо развитіе настоящей электрохиміи началось лишь въ первые годы XIX столѣтія). Вслѣдствіе этого особенно ясно выступаютъ характерныя общія черты такого развитія. Сюда присоединяется еще то обстоятельство техническаго характера, что существующіе документы происшедшихъ процессовъ легко сохранить, и они не нуждаются ни въ какой филологической или дипломатической критикѣ, а могутъ быть использованы непосредственно. Далѣе, именно въ наше время закончился одинъ весьма мощный этапъ ея развитія, сотрудники котораго почти всѣ еще живы и могутъ дать намъ непосредственно свѣдѣнія по многимъ сомнительнымъ вопросамъ. Наконецъ, дѣло идетъ объ области, гдѣ техническая сторона имѣетъ не менѣе важное значеніе, чѣмъ научная, такъ что обѣ эти стороны развитія культуры въ равной мѣрѣ имѣются на лицо.

Исходя изъ всѣхъ этихъ соображеній, я еще 14 лѣтъ тому назадъ предпринялъ весьма подробную разработку исторіи электрохиміи *). Съ того времени продолженные мною занятія исторіей науки, связанныя съ личнымъ моимъ развитіемъ, значительно углубили и расширили мой взглядъ на историческія событія, такъ что тотъ же матеріалъ даетъ мнѣ возможность въ настоящее время придти къ лучшимъ и болѣе богатымъ выводамъ, чѣмъ въ то время. Вмѣсто полной переработки того обширнаго сочиненія мы предпочли дать въ настоящей книгѣ краткій обзоръ основныхъ фактовъ и важнѣйшихъ выводовъ. Книга эта рассчитана на широкій кругъ читателей, не имѣющихъ никакой спеціальной подготовки. Центръ тяжести ея въ общихъ разсужденіяхъ, устанавливающихъ законѣрную связь между отдѣльными историческими фактами. Я съ дав-

*) Die Electrochemie, ihre Geschichte und Lehre. Leipzig. Veit & Co. 1903.

нихъ поръ и не разъ указывалъ уже на то, что именно исторія наукъ даетъ лучший и наиболѣе надежный матеріалъ, на которомъ могутъ быть изучены законмѣрности въ развитіи человѣчества. Ибо и къ этому изученію примѣнимо общее естественно-научное правило, что прежде всего слѣдуетъ постараться рассмотреть изслѣдуемое явленіе въ простѣйшихъ его условіяхъ. Подобныя же простѣйшія условія легче, чѣмъ въ какихъ бы то ни было другихъ дѣлахъ человѣческихъ, можно найти въ развитіи науки.

Глава вторая.

Доисторическая эпоха элентрохиміи.

Взаимныя связи между самыми различными отраслями знаній столь перекрещиваются между собою, что до извѣстной степени представляется произвольнымъ, гдѣ именно начинать исторію одной какой-нибудь отрасли науки. Съ точки зрѣнія самыхъ общихъ ея основаній она имѣетъ, конечно, свое начало въ самыхъ отдаленныхъ начаткахъ человѣческой мысли и потому исторію ея опредѣленной назвать нельзя. Зато часто бываетъ легко весьма опредѣленнымъ образомъ указать тотъ моментъ, когда эта особая форма появилась на порогѣ общечеловѣческой мысли, выдѣлилась, какъ особая область. И указанія эти бываютъ тѣмъ опредѣленнѣе, чѣмъ моментъ этотъ ближе къ нашимъ днямъ. Ибо таковъ общій ходъ развитія науки, что все человѣческое знаніе развивается тѣмъ медленнѣе, чѣмъ дальше мы удаляемся отъ нашихъ дней. Наука есть одинъ изъ послѣднихъ и высшихъ продуктовъ духовнаго развитія человѣчества. Въ виду этого она и народилась гораздо позже, чѣмъ другія формы его культурной дѣятельности, и приспособленіе общечеловѣческой психики къ требованіямъ этой особаго рода работы происходило лишь постепенно и медленно и распространялось на сравнительно небольшое число дарованій, оказавшихся въ особо выгодномъ положеніи. Этимъ объясняется, напимѣръ, то, что первый расцвѣтъ науки, о которомъ

у насъ есть точныя свѣдѣнія, и которымъ ознаменовался у грековъ VI вѣкъ до Р. Х., смѣнился упадкомъ ея, вплоть до полнаго почти исчезновенія въ средніе вѣка. Въ теченіе послѣднихъ трехъ вѣковъ наступилъ новый расцвѣтъ ея и наше время является свидѣтелемъ лишь самаго начала его. Приспособленіе психики грековъ къ требованіямъ научной работы исчезло вмѣстѣ съ политической и физической гибелью этого народа. Вновь появившіеся на политической аренѣ германцы имѣли столь мало развитую коллективную психику, что у нихъ успѣли только отдѣлиться воинственные инстинкты отъ политическихъ, а для дальнѣйшаго развитія къ сознательной научной работѣ потребовался еще цѣлый рядъ постепенно приспособляющихся поколѣній. Въ настоящее время развитіе это достигло значительнаго совершенства, и чистые германцы значительно опередили образовавшіеся въ Италіи и Франціи германо-латинскіе народы, у которыхъ это развитіе началось раньше.

Что касается явленій электрическихъ, то знаніе ихъ у грековъ ограничивалось немногими, ничѣмъ между собой не связанными фактами, а знаніе химіи не шло дальше нѣкоторыхъ чисто техническихъ свѣдѣній и умѣній. При этихъ условіяхъ ни одинъ почитатель грековъ при всемъ желаніи не сможетъ объявить ихъ первыми работниками въ этой области. Но и впослѣдствіи, въ XVIII столѣтіи, когда знанія явленій электрическихъ стали быстро расширяться, связь ихъ съ явленіями химическими въ первое время не намѣчалась, даже какъ случайное наблюденіе. Объясняется это тѣмъ особымъ обстоятельствомъ, что всѣ электрическіе генераторы, электрическія машины, электрофоры и т. п. аппараты, одни только и извѣстные въ то время, имѣли одно общее свойство: они давали электрическую энергію высокаго напряженія, но при весьма маломъ количествѣ электричества. Такъ какъ явленія химическія, какъ мы

увидимъ ниже, протекаютъ пропорціонально количеству электричества, то химическіе процессы для осуществленія этихъ электрическихъ явленій были весьма ничтожны, на столько ничтожны, что существующими въ то время средствами наблюдать ихъ было невозможно! Вѣдь, вотъ даже и въ наше время доказательство такихъ отношеній въ случаѣ электричества отъ тренія есть экспериментъ далеко не простой, и въ извѣстныхъ случаяхъ это трудное доказательство дало возможность рѣшить важныя теоретическіе вопросы.

Такъ могло развиваться довольно широкое знакомство съ, такъ называемымъ, статическимъ электричествомъ, безъ всякой мысли о какой бы то ни было связи его съ явленіями химическими. И когда даже замѣчено было, что въ случаѣ сильныхъ электрическихъ разрядовъ, черезъ тонкія металлическія проволоки, происходитъ воспламененіе, то само собой напрашивалось объясненіе такого явленія развивающейся при этомъ теплотой, такъ что искать дальнѣйшую существующую здѣсь связь вообще не приходило въ голову.

При всемъ томъ наблюдались при этомъ извѣстныя явленія, которыя обыкновенными средствами не могли быть получены и потому до поры до времени должны были оставаться безъ объясненія. Древнѣйшее и важнѣйшее изъ этихъ явленій есть измѣненіе, которое испытываетъ атмосферный воздухъ при прохожденіи черезъ него электрической искры. Въ настоящее время процессъ этотъ получилъ чрезвычайно важное значеніе: этимъ путемъ мы связываемъ свободный азотъ воздуха, образуя соединеніе его, служащее въ качествѣ средства для удобренія. Средство это служитъ важнымъ продуктомъ потребления для нашего сельскаго хозяйства и потому представляетъ двойной интересъ познакомиться съ древнѣйшей исторіей этого открытія.

Первымъ, кому мы обязаны наблюденіями по этому вопросу, былъ Джозефъ Пристлей. Это былъ удивительный человѣкъ, типъ котораго съ того времени совершенно исчезъ. Въ наше время онъ какъ будто вновь нарождается въ соотвѣтственно измѣненной формѣ. Приведемъ краткій обзоръ его жизни и дѣятельности.

Джозефъ Пристлей родился въ 1733 году въ Фильдгидѣ, близъ Лидса въ Йоркширѣ. Онъ родился въ бѣдной семьѣ ткача и красильщика. Такъ какъ семья очень быстро возрастала, то Джозефа взялъ къ себѣ его дѣдушка по матери. Вскорѣ, однако, умерла его мать, и онъ вернулся домой и сталъ посѣщать школу. Стѣсненные обстоятельства вынудили его отца помѣстить его у сестры своей, г-жи Кеглей. Она была не бѣдна и, взявъ Джозефа къ себѣ, воспитала его, какъ собственнаго сына. Она была „диссиденткой“, т. е. религіозныя и церковныя воззрѣнія ея не совпадали съ воззрѣніями господствующей церкви. Она стала вліять на вдумчиваго мальчика, надѣясь создать изъ него въ будущемъ диссидентскаго священника; болѣе высокаго званія она и представить себѣ не могла. Домъ ея часто посѣщали эти лица и вели тамъ цѣлыя диспуты. Эти впечатлѣнія живо захватили душу подраставшаго мальчика и оставили въ ней глубокій слѣдъ до самой смерти, между тѣмъ какъ позднѣйшій интересъ къ химіи онъ унаслѣдовалъ, слѣдуетъ думать, отъ отца своего, красильщика.

Уже въ ранней юности Джозефъ обнаруживалъ большую страсть къ книгамъ и занятіямъ всевозможнаго рода. Такъ какъ подъ наукой въ то время подразумѣвали, кромѣ теологіи, только древніе языки, то онъ ревностно и съ успѣхомъ изучалъ латынь, греческій и древне-еврейскій языки. Занятія эти были прерваны начавшейся болѣзнью. Такъ какъ опасались, что это начало легочной чахотки, то тетка отослала его въ Лис-

сабонъ, съ болѣе мягкимъ климатомъ. Здѣсь онъ долженъ былъ подготовляться къ профессіи купца. Попавъ въ Лиссабонъ, онъ, естественно, былъ вынужденъ изучить и португальскій языкъ. Занятіе этимъ языкомъ пробудило въ немъ интересъ къ новымъ языкамъ вообще, и онъ скоро изучилъ безъ помощи учителя нѣмецкій, французскій и итальянскій языки.

Въ болѣе мягкомъ климатѣ его здоровье возстановилось настолько, что къ 19 годамъ онъ могъ вернуться домой къ прежнимъ своимъ занятіямъ. Онъ поступилъ въ академію въ Darenty, гдѣ изучалъ механику и метафизику и рядомъ съ этимъ изучилъ халдейскій, сирійскій и арабскій языки. Около этого же времени, именно 20 лѣтъ отъ роду, онъ началъ и литературную свою карьеру, написавъ нѣсколько теологическихъ статей. Преподаваніе въ академіи велось такимъ образомъ, что учителя ставили какіе-нибудь спорные теологическіе вопросы, а учащіеся дѣлились на двѣ спорящія стороны, выступавшія за и противъ того или другого взгляда. По словамъ Пристлея, онъ большей частью оказывался на сторонѣ свободомыслящихъ и иновѣрныхъ.

Это обстоятельство оказало, повидимому, весьма неблагоприятное вліяніе и на его дальнѣйшую карьеру проповѣдника. Онъ началъ ее въ роли младшаго священника въ небольшой капеллѣ, но скоро настолько вооружилъ противъ себя своихъ прихожанъ, что вынужденъ былъ оставить мѣсто. Попытался онъ работать въ одной школѣ, занималъ и другія мѣста проповѣдника, но все безъ успѣха. Онъ умеръ бы отъ голода, если бы нѣсколько друзей не заботились о немъ и отъ времени до времени не снабжали его кое-какими суммами. Наконецъ, ему посчастливилось получить мѣсто проповѣдника въ Нентвичѣ, въ Чеширѣ, гдѣ ему удалось основать и школу, въ которой онъ преподавалъ съ успѣ-

хомъ. Отъ семи часовъ утра до четырехъ часовъ пополудни онъ преподавалъ въ школѣ, а затѣмъ до семи часовъ вечера у него былъ еще частный урокъ въ домѣ одного знаменитаго адвоката, Томлинсона. Эта послѣдняя его дѣятельность навела его на открытія, которымъ суждено было гораздо больше прославить его имя, чѣмъ всѣ теологическія работы, въ которыхъ онъ видѣлъ существенное содержаніе своей жизни.

Желая познакомить своихъ учениковъ съ начатками естественныхъ наукъ, онъ купилъ нѣсколько аппаратовъ—небольшой воздушный насосъ, электрическую машину и другія мелочи, необходимыя въ то время для преподаванія физики; накупилъ онъ и необходимыхъ для этого книгъ. Этимъ онъ ввелъ нѣчто въ родъ нагляднаго метода преподаванія, который и мы хотимъ ввести въ наше время; старшіе ученики сами работали подъ его руководствомъ при аппаратахъ и обслуживали ихъ. Этой дѣятельностью онъ занимался отъ 25 до 28 года своей жизни, послѣ чего получилъ мѣсто учителя при академіи въ Варрингтонѣ, гдѣ оставался шесть лѣтъ. Въ теченіе этого времени онъ написалъ множество книгъ, среди которыхъ прочнымъ успѣхомъ пользовалась его Исторія электричества. Въ 1767 г. онъ, женившись, отправился въ Лидсѣ, гдѣ снова получилъ мѣсто проповѣдника. Здѣсь его опять увлекли многочисленные теологическіе споры. При всемъ томъ пребываніе въ Лидсѣ дало ему также первую возможность къ самостоятельнымъ открытіямъ въ той единственной области химіи, въ которой онъ работалъ, олстименно, въ области химіи газовъ.

Въ Лидсѣ онъ жилъ близъ пивовареннаго завода. Здѣсь онъ впервые познакомился съ углекислотой, выдѣлявшейся въ большихъ количествахъ изъ бродящей жидкости. Его познанія въ химіи ограничивались тѣмъ, что ему удалось извлечь изъ популярнаго курса химіи

Тернера въ Ливерпульѣ и еще нѣкоторыхъ статей по химіи. Первая химическая работа, которую онъ обнаружилъ, касалась полученія воды, содержащей въ растворѣ углекислоту, изъ выдѣляющихся на пивоваренномъ заводѣ газовъ. Онъ приписывалъ этой водѣ особую дѣйствительную силу противъ цынги, которая свирѣпствовала въ то время на корабляхъ вслѣдствіе нераціональнаго питанія, и этимъ надѣлалъ много шума. Дальнѣйшія свои многочисленныя изслѣдованія онъ изложилъ въ трехтомномъ сочиненіи „Эксперименты и наблюденія надъ различными родами воздуха“—сочиненіи, быстро доставившемъ ему европейскую извѣстность. Какъ разъ около того времени было открыто, что газы различаются между собой по своимъ химическимъ свойствамъ. До этого они вслѣдствіе сходныхъ своихъ физическихъ свойствъ считались все по существу своему равными воздуху; существующія отличія приписывались тѣмъ или другимъ примѣсамъ. Огромнымъ множествомъ и важностью своихъ открытій онъ обязанъ тому, что ему пришлось въ голову вмѣсто воды, надъ которой до тѣхъ поръ собирались газы, употребить ртуть. Пробуя на удачу, не дадутъ ли тѣ или другія вещества при смѣшеніи и нагрѣваніи газы, онъ съ помощью ртутной ванны получилъ всѣ тѣ растворимые въ водѣ газы, какъ-то: хлороводородъ, амміакъ и т. д., которые другимъ изслѣдователямъ до него открыть не удалось. Главное его открытіе было открытіе кислорода. Получилъ онъ его нѣсколько позже, чѣмъ Шееле, при чемъ онъ пользовался тѣмъ самымъ методомъ, которымъ и мы въ настоящее время еще пользуемся при начальномъ преподаваніи химіи,—нагрѣваніемъ окиси ртути.

Бросимъ еще бѣглый взглядъ на дальнѣйшую судьбу Пристлея, такъ какъ она чрезвычайно характерна какъ по существу своему, такъ и для того времени.

Въ 1773 году графъ Шельбурнъ, богатый человѣкъ,

отличавшійся большою любовью къ естественнымъ наукамъ, предложилъ ему у себя мѣсто секретаря и соотаврица по путешествіямъ и научнымъ занятіямъ. Они довольно продолжительное время путешествовали по Европѣ, и въ Парижѣ Пристлей произвелъ передъ Лавуазье свои опыты полученія кислорода. Энергичная и трудолюбивая жена Пристлея очень хорошо высосала насосомъ кислородъ. Нѣсколько лѣтъ спустя Лавуазье обнародовалъ работу о кислородѣ, въ которой честь его открытія приписалъ исключительно себѣ. Уже тогда существовало во Франціи мнѣніе, будто ни одно важное открытіе нигдѣ, кромѣ Парижа, не можетъ и не должно быть сдѣлано.

Нѣсколько лѣтъ спустя послѣ возвращенія въ Англію графъ Шельбурнъ нашелъ, что долговременное пребываніе въ обществѣ Пристлея дѣйствуетъ ему на нервы. Они дружески разошлись, и Пристлею была на всю жизнь назначена довольно значительная пенсія, которая и выплачивалась ему пунктуально до самой смерти. Получалъ онъ довольно значительную помощь и отъ другихъ своихъ друзей, что дало ему полную возможность поселиться въ Бирмингамѣ и свободно отдаться своимъ теологическимъ и химическимъ занятіямъ. Теологическія занятія сильно вооружили противъ него представителей англиканской церкви. Они оказались не особенно разборчивыми въ средствахъ для борьбы съ нимъ и въ особенности изображали его, какъ друга французской революціи и французовъ. Такимъ образомъ имъ удалось вооружить противъ него толпу, и въ 1791 году чернь, напавъ на его домъ, разорвала книги, изломала аппараты и подожгла самый домъ. Онъ самъ полатился бы жизнью, если бы друзья съ опасностью для самихъ себя не спрятали его и не увезли изъ города. Во всей странѣ съ нимъ стали обращаться, какъ съ изгнанникомъ; члены Королевскаго

Общества, къ которому онъ принадлежалъ, отказывались отъ всякихъ сношеній съ нимъ. Возмущенные такимъ отношеніемъ, сыновья его оставили страну и въ концѣ концовъ переселились въ Америку. Послѣ долгихъ размышленій Пристлей въ 1795 году послѣдовалъ за ними. Тамъ онъ былъ встрѣченъ съ большимъ почетомъ. Ему предложена была каведра при университетѣ въ Филадельфій. Онъ предпочелъ, однако, свободнымъ человѣкомъ поселиться въ Нортумберландѣ, въ 130 миляхъ отъ Филадельфій. Здѣсь онъ опять написалъ множество книгъ, большей частью теологическаго содержанія, и умеръ въ 1804 году на 71 году своей жизни, потерявъ сначала жену и потомъ самаго младшаго своего сына, котораго онъ воспитывалъ такъ, чтобъ тотъ могъ стать продолжателемъ его теологическихъ работъ.

Вернемся теперь къ работѣ, по поводу которой намъ пришлось познакомиться съ этой удивительной личностью. Касалась эта работа дѣйствія электрическихъ искръ на атмосферный воздухъ. Отдѣливъ въ запаянной сверху трубкѣ небольшое количество воздуха надъ водою, онъ пропускалъ по проволоцѣ, проходившей черезъ эту трубку, электрическую искру. Воздухъ уменьшался въ объемѣ, и вода въ трубкѣ получала способность окрашивать въ красный цвѣтъ синій растворъ лакмуса, т. е. она содержала кислоту. Пристлей попытался опредѣлить, что это за кислота, но, не обладая опытностью или ловкостью въ анализѣ, онъ потерпѣлъ здѣсь неудачу. Онъ предполагалъ, что это углекислота — вѣроятно, потому, что онъ ею особенно много занимался.

Той же задачей занялся нѣсколько позже современникъ и соотечественникъ Пристлея, Кэвэндишъ, которому и удалось изучить ее съ точностью, выходящей далеко за предѣлы и потребностей и даже пониманія того времени.

Кэвэндишъ былъ во всѣхъ отношеніяхъ противоположностью Пристлея. Рожденный въ одной изъ древнѣйшихъ семей Англіи, онъ первоначально получалъ отъ отца своего весьма небольшое содержаніе. Поселившись въ лондонскомъ домѣ своего отца надъ конюшнями, онъ зажилъ простой и уединенной жизнью, которая столь поражала всѣхъ впослѣдствіи. О своихъ занятіяхъ онъ никому не сообщалъ ни слова, да и историческими изслѣдованіями не удалось ничего выяснитъ о многихъ годахъ его жизни. Во всякомъ случаѣ онъ очень много занимался, ибо онъ владѣлъ почти всѣмъ математическимъ и естественно-научнымъ знаніемъ своей эпохи. Единственно съ кѣмъ онъ встрѣчался, это со своими товарищами изъ Королевскаго Общества. Въ чуждомъ ему обществѣ онъ былъ до болѣзненности застѣнчивъ и впослѣдствіи, когда онъ получилъ европейскую извѣстность, онъ убѣгалъ, не говоря ни слова, когда съ нимъ заговаривали объ этомъ чужіе ему люди. Послѣ смерти отца онъ наслѣдовалъ его большое состояніе, къ которому скоро присоединилось наслѣдство отъ тетки. Онъ тратилъ весьма небольшую часть своихъ доходовъ, и потому богатство его сильно возрастало, такъ что оставленное имъ послѣ смерти наслѣдство доходило почти до 25.000.000. рублей.

Въ противоположность Пристлею, неутомимо работавшему перомъ, Кэвэндишъ писалъ очень мало. Проработавъ безъ перерыва всю свою жизнь (Кэвэндишъ родился въ 1731 г. и умеръ въ 1810 г.), онъ оставилъ не болѣе двухъ десятковъ научныхъ работъ. Первая изъ нихъ была обнародована въ 1766 г., когда ему было 35 лѣтъ, въ журналѣ *Philosophical Transactions*. Тамъ же онъ обнародовалъ и всѣ остальные работы, изъ которыхъ часть была довольно малаго объема. При всемъ томъ научныя заслуги его несравненно выше заслугъ Пристлея.

Вернемся теперь къ работѣ, которая насъ здѣсь занимаетъ. Въ цѣломъ рядѣ рѣшающихъ дѣло опытовъ Кэвэндишъ доказалъ, что при обработкѣ атмосфернаго воздуха электрическими искрами образуются азотная и азотистая кислоты, которыя могутъ быть получены въ видѣ солей калия, если въ трубкѣ подъ воздухомъ помѣстить растворъ ѣдкаго кали. Нашелъ онъ также, что одинъ воздухъ, безъ всякой примѣси, не можетъ быть споленъ превращенъ въ эти кислоты, но онъ превращается почти споленъ, если примѣшать къ нему избытокъ кислорода. Такимъ образомъ можно „связать“ почти весь воздухъ, только небольшая часть, меньше 1%, противостоитъ всѣмъ попыткамъ связать ее съ кислородомъ. Весьма вѣроятно, что Кэвэндишъ здѣсь имѣлъ уже въ рукахъ аргонъ, ту удивительную, не вступающую ни въ какія соединенія, часть атмосферы, которую суждено было открыть его соотечественникамъ, лорду Релею и Рамсею, около столѣтія спустя.

На этомъ мы могли бы закончить исторію развитія электрохиміи въ самыхъ первыхъ ея начаткахъ. Но прежде, чѣмъ перейти къ дальнѣйшему изложенію, будетъ не бесполезно немного ближе разсмотрѣть эти два типа научныхъ изслѣдователей. Въ Пристлеѣ мы находимъ превосходнаго человѣка, выросшаго въ бѣдности, — человѣка весьма бурныхъ, повидимому, настроеній и возрѣній, не дававшихъ ему успокоиться въ теченіе всей жизни. Одаренный поразительной производительностью, онъ не заботится особенно объ углубленіи и провѣркѣ полученныхъ имъ результатовъ, какъ и о планомѣрной и систематической работѣ въ избранной имъ области. Онъ самъ сравниваетъ свою работу съ охотникомъ, который на удачу бродитъ по полю и лѣсу, сегодня натыкаясь на несчастнаго зайца, а завтра на горнаго оленя (но очень часто совсѣмъ

давая маху, долженъ добавить добросовѣстный историкъ). Въ дѣйствительности же Пристлей занимается своими химическими открытіями, какъ извѣстнаго рода спортомъ, рядомъ съ теологіей, которую онъ считаетъ своимъ призваніемъ, и никто, вѣроятно, не поразился бы въ большей степени, чѣмъ онъ самъ тѣмъ гигантскимъ эхомъ, которое вскорѣ встрѣтили эти открытія во всемъ научномъ мірѣ. Только это эхо навело его, повидимому, на мысль, что въ этихъ побочныхъ занятіяхъ, которымъ онъ отдавался ради удовольствія, заключается кое-что важное и значительное.

Познанія его въ химіи, какъ уже замѣчено было выше, были весьма невелики. Не интересуясь вовсе вопросомъ, не сдѣлано ли что-нибудь въ данной области кѣмъ-либо другимъ, онъ сохранилъ завидную непосредственность и наивность въ своихъ изслѣдованіяхъ. Онъ представляетъ самое поразительное доказательство того, что иногда лучшая тактика для научнаго изслѣдователя знать возможно меньше о томъ, что другіе сдѣлали уже въ данной области. Правда, такое отношеніе къ дѣлу лишь тогда плодотворно, когда человѣкъ работаетъ въ области неразработанной еще, или весьма мало разработанной. Пристлей оказался въ такомъ положеніи, въ какомъ были первые золотоискатели въ Калифорніи, которымъ вовсе не было надобности много трудиться надъ разработкой руды, извлеченіемъ изъ нея золота и т. д., такъ какъ они находили куски золота, и ихъ оставалось только поднимать. Сколько людей во времена Пристлея забавлялись, подобно ему, химическими экспериментами, но не наткнулись на золотую россыпь и открытій не сдѣлали, вслѣдствіе чего имена ихъ въ исторію науки не попали? Кто же это знаетъ?

Золотая россыпь, открытая Пристлеемъ, была, какъ мы говорили уже, ртутная ванна. Одинъ шагъ

впередъ въ технической сторонѣ дѣла, замѣна воды ртутью—вотъ ключъ къ большинству открытій Пристлея. Благодаря этому ключу, онъ и открылъ новые газы, и только благодаря этимъ открытіямъ, его имя на долго сохранилось въ исторіи науки. Теоретическія же воззрѣнія его ничѣмъ не шли дальше общепринятыхъ въ то время воззрѣній, а въ позднѣйшую свою жизнь онъ оказался самымъ яркимъ противникомъ народившихся съ теченіемъ времени новыхъ и болѣе правильныхъ воззрѣній въ химіи.

Совсѣмъ другое дѣло—Кэвендишъ. Всѣ старанія его направлены къ тому, чтобы выполнить изслѣдованія, надъ которыми онъ работаетъ, съ наибольшимъ совершенствомъ. Въ то время, какъ Пристлей сталъ печататься уже на 20-омъ году отъ роду и въ теченіе всей дальнѣйшей своей жизни не переставалъ доставлять работу типографскому станку, Кэвендишъ не осмѣливался что-либо обнародовать до 35 года своей жизни, хотя онъ и гораздо раньше произвелъ уже, какъ извѣстно, не мало самостоятельныхъ научныхъ работъ. Въ какой бы области онъ ни работалъ, онъ вездѣ оказывается основательнымъ знатокомъ изслѣдованій другихъ ученыхъ, и каждую область онъ двигаетъ впередъ, если не поразительными новыми экспериментами, то тонкими и тщательными количественными изслѣдованіями. Здѣсь не мѣсто, къ сожалѣнію, провести это сравненіе черезъ всѣ другія стороны этихъ двухъ ученыхъ, но и сказаннаго, надѣмся, достаточно, чтобы показать, что врядъ ли возможна болѣе рѣзкая противоположность, чѣмъ между этими двумя современниками и соотечественниками, которые къ тому же столкнулись на рѣшеніи одной и той же научной задачи.

Эта противоположность—не своеобразная игра случайностей, а—случайно особенно наглядный—примѣръ двухъ типовъ ученыхъ, на которые можно раздѣлить

съ большой опредѣленностью всѣхъ великихъ естествоиспытателей. Они всѣ принадлежать или къ бурному, легко и много производящему типу Пристлея, или къ медленному и осторожному типу Кэвендиша, всегда работающему надъ отдѣлкой своихъ работъ, создающему мало по объему, но много по глубинѣ и значенію. Съ перваго взгляда можетъ показаться страннымъ, что природа именно это мастерское свое произведение готовитъ столь монотоннымъ образомъ по двумъ моделямъ. Тѣмъ не менѣе, мы и впредь будемъ имѣть не мало случаевъ убѣдиться, что оно въ дѣйствительности такъ и есть.

Попытаться дать объясненіе этому явленію здѣсь еще не время. Мы сможемъ приступить къ этой задачѣ лишь послѣ того, какъ матеріалъ для ея рѣшенія обогатится настолько достаточнымъ числомъ другихъ научныхъ изслѣдователей, что чистую случайность здѣсь нельзя будетъ усмотрѣть.

Различіе между обоими учеными ясно намѣчается, между прочимъ, въ способѣ, какъ каждый изъ нихъ осуществляетъ свои опыты, по существу своему сходные, Эксперименты Пристлея, согласно собственнымъ его показаніямъ, продолжались не больше нѣсколькихъ минутъ. Кэвендишъ же, чтобы получить достаточное число вещества для надежнаго по своимъ результатамъ изслѣдованія, обрабатывалъ газы электрической искрой, возобновляя ихъ по мѣрѣ потребленія, въ одномъ опытѣ въ теченіе 20, а въ другомъ—въ теченіе 53 дней.

Работы эти производились отъ 1775 до 1778 года. Въ то время происходила борьба между сторонниками флогистоновой теоріи и сторонниками народившейся новой теоріи кислорода, и Кэвендишъ по поводу этихъ своихъ работъ, да и впослѣдствіи тоже высказывалъ свой взглядъ по этому вопросу. Пристлей, въ полномъ согласіи съ характеромъ его мышленія и ра-

боты, горячо выступилъ въ защиту теоріи флогистона, считая одну только ее правильной. Совсѣмъ иначе поступилъ Кэвендишъ: онъ сталъ на точку зрѣнія нейтральнаго критика, доказывая, что извѣстные въ то время факты одинаково хорошо объясняются, какъ той, такъ и другой теоріей. Поэтому, нѣтъ вообще основаній высказываться рѣшительно за или противъ той или другой изъ нихъ, и пользоваться-ли той, или другой формой выраженія есть исключительно дѣло вкуса. Онъ лично находить болѣе удобнымъ способъ выраженія флогистоновой теоріи.

Теоретическое и практическое развитіе этихъ изслѣдованій выпало на долю лишь новѣйшаго времени. Кромѣ нихъ, можно указать еще нѣсколько отдѣльныхъ работъ, въ которыхъ обнаружилась связь между явленіями электрическими и химическими.

Одна изъ этихъ работъ вскорѣ получила немаловажное теоретическое значеніе. Одинъ богатый человѣкъ въ Гарлемѣ, Тейлеръ, далъ средства для построенія величайшей электрической машины въ мірѣ, и физикъ ванъ-Марумъ получилъ порученіе сначала помочь осуществленію этого дѣла своими познаніями, а затѣмъ совершать съ этимъ гигантскимъ аппаратомъ соотвѣтствующія изслѣдованія. Выборъ оказался чрезвычайно счастливымъ. Былъ построенъ дѣйствительно превосходный аппаратъ, да и выполненныя съ нимъ изслѣдованія дали кое-какіе замѣчательные плоды.

Приносятъ ли такіа предпріятія на самомъ дѣлѣ пользу? Можно было бы подумать, что большой аппаратъ дастъ то же самое, что малый, но въ пропорціо-нально увеличенномъ и усиленномъ видѣ. Въ такомъ случаѣ все дѣло зависѣло бы отъ того, какъ данный изслѣдователь привыкъ работать: если онъ предпочитаетъ небольшіе аппараты, то большой послужитъ ему только помѣхой. Во многихъ случаяхъ оно такъ и есть.

Но изъ исторіи науки мы знаемъ, что большой аппаратъ нерѣдко давалъ и кое-что качественно новое и такимъ образомъ обнаруживалъ превосходство свое надъ малымъ и въ существѣ дѣла, а не только въ масштабѣ.

Причина этого факта заключается, вообще говоря, въ явленіи порога. Этимъ образнымъ названіемъ обозначаютъ, какъ извѣстно, слѣдующее психологическое явленіе: чтобы быть воспринятымъ, всякое раздраженіе не должно быть меньше извѣстной конечной, весьма малой величины; эта необходимая минимальная величина и называется порогомъ. И если хорошенько вдуматься, то не только наша психика обнаруживаетъ этотъ порогъ, а онъ есть во всякомъ аппаратѣ, отъ гигантской паровой машины въ 1000 лошадиныхъ силъ до самаго чувствительнаго гальванометра: чтобы привести его въ дѣйствіе нужна затрата извѣстнаго минимальнаго количества энергіи. Поэтому, когда мы имѣемъ дѣло съ дѣйствіями, весьма малыми, при данномъ устройствѣ аппаратовъ меньше порога, доступнаго наблюденію, то однимъ увеличеніемъ масштаба эксперимента можно усилить эти дѣйствія такъ, чтобы они стали больше этого порога, и открытіе ихъ на лицо.

Доказательство этому—и весьма замѣчательное!—мы имѣли въ самые послѣдніе годы. На основаніи электромагнитной теоріи свѣта, начало которой было положено работами Максвелла, слѣдуетъ ожидать вліянія магнитнаго поля на извѣстныя оптическія явленія и, въ особенности, на свѣтлыя линіи спектра, обязанныя своимъ происхожденіемъ раскаленнымъ парамъ металловъ. Это тѣ самыя линіи, при помощи которыхъ Бунзенъ и Кирхгоффъ доказали присутствіе многихъ земныхъ элементовъ на солнцѣ и звѣздахъ. Задолго еще до Максвелла создалъ себѣ сходное съ этимъ воззрѣніе (которое, правда, нельзя было назвать еще теоріей) на

связь, существующую между свѣтомъ и магнетизмомъ, и Фарадей. Онъ сдѣлалъ даже изъ этого воззрѣнія извѣстные выводы, которые ему удалось подтвердить на опытѣ. Но упомянутое выше вліяніе ему доказать никакъ не удавалось, несмотря на многократныя попытки. Даже послѣднія работы, на осуществленіе которыхъ онъ тратилъ послѣднія свои силы, были посвящены именно этой проблемѣ. Но въ самое послѣднее время эти явленія, надъ доказательствомъ которыхъ столь тщетно работалъ Фарадей, удалось наблюдать голландскому физику Зееману, и съ тѣхъ поръ его опыты удалось повторить съ успѣхомъ во многихъ лабораторіяхъ. Объясняется это просто тѣмъ, что въ настоящее время можно получить гораздо болѣе сильныя магнитныя поля, да и оптическіе инструменты для изученія ихъ вліяній куда болѣе совершенны. Порогъ, доступный наблюденію, перейденъ, и открытіе стало возможнымъ. Съ другой стороны, фактъ такихъ пороговъ, въ общемъ, имѣетъ слѣдующее послѣдствіе: съ уменьшеніемъ масштаба опыта всѣ дѣйствія не уменьшаются лишь въ масштабѣ, сохраняясь во всемъ своемъ своеобразіи, а они исчезаютъ совсѣмъ одно за другимъ, опускаясь ниже соотвѣтствующаго порога. Съ увеличеніемъ же масштаба опыта они, наоборотъ, поднимаются выше порога, и всегда слѣдуетъ ожидать, что при значительномъ увеличеніи аппаратовъ удастся открыть, если оно вообще существуетъ, и кое что существенно новое.

Гигантская машина Тейлера дала возможность ванъ-Маруму наблюдать слѣдующее явленіе: электрическій разрядъ разлагаетъ нѣкоторыя вещества, выдѣляя изъ нихъ газы. Однако, онъ, повидимому, не особенно интересовался химіей, ибо онъ объявилъ вполне опредѣленно, что произвелъ эти опыты не столько потому, что самъ отъ нихъ многого ожидалъ,

сколько потому, что объ этомъ его просили другіе, и что, поэтому, онъ продолжать ихъ не станетъ. Но соотечественники его, Raets van Troostwijk и Deishann, болѣе знакомые съ химіей, сумѣли извлечь отсюда гораздо больше. Они имѣли въ своемъ распоряженіи другую машину, построенную по типу машины Тейлера, и установили слѣдующее. Если пропускать черезъ воду электрическіе разряды, усиленные введенными въ цѣпь лейденскими банками и разрывами цѣпи для образованія искръ (Funkenstrecken), то изъ этой воды выдѣляется какой-то газъ. Если опытъ производится, напимѣръ, въ замкнутой сверху трубкѣ, черезъ которую проходитъ металлическая проволока для разряда, то газъ собирается въ трубкѣ, вытѣсняя изъ нея воду. Когда уровень воды падаетъ, наконецъ, настолько, что конецъ проволоки ея не касается болѣе, и проходитъ электрическая искра, то газъ съ трескомъ исчезаетъ и трубка вновь наполняется водой.

Такъ происходитъ дѣло съ гремучимъ газомъ, смѣсью изъ одного объема кислорода и двухъ объемовъ водорода. Итакъ, подъ дѣйствіемъ электрическаго разряда изъ воды образуется гремучій газъ, а такъ какъ другого источника для его образованія здѣсь нѣтъ, то ясно, что кислородъ и водородъ образовались изъ воды и составляютъ ея элементы. Авторы этого опыта пришли къ заключенію, что происходившій въ то время споръ на счетъ сложной природы воды и ея элементовъ этимъ опытомъ рѣшенъ въ духѣ теоріи кислорода, и они были, конечно, правы.

Чтобы предупредить возможную ошибку въ пониманіи этого эксперимента, необходимо указать на то, что здѣсь вовсе не было электролиза въ смыслѣ, о которомъ у насъ будетъ рѣчь впереди. Нѣтъ, скорѣе здѣсь дѣло идетъ о дѣйствіи высокой температуры, вызываемой электрическимъ разрядомъ вдоль пути

искры, и въ этомъ отношеніи описанный только что опытъ вполне аналогиченъ опыту Пристлея и Кэвендиша. Разница только та, что здѣсь составныя части воды раздѣляются въ то время, какъ тамъ, наоборотъ, соединяются кислородъ и азотъ, которые при обыкновенныхъ условіяхъ не соединяются. Другими словами, электрическій разрядъ вводитъ насъ въ область, въ которой обыкновенныя химическія реакціи дѣлаются обратными или, по крайней мѣрѣ, существенно измѣняются. Эпоха, гораздо болѣе поздняя, усмотрѣла причину этихъ необыкновенныхъ процессовъ въ слѣдующемъ: съ одной стороны, на пути разряда образуется весьма высокая температура, а съ другой стороны, внезапное охлажденіе этихъ ограниченныхъ весьма тѣснымъ пространствомъ раскаленныхъ веществъ со стороны ихъ среды, которая остается холодной, вызываетъ именно эти дѣйствія.

Намъ остается, наконецъ, упомянуть еще въ этой главѣ, посвященной доисторической эпохѣ электрохиміи, о рядѣ опытовъ, произведенныхъ итальянскимъ физикомъ Вольта, съ которымъ мы вскорѣ познакомимся поближе. Произвелъ онъ эти опыты въ Парижѣ въ сотрудничествѣ съ нѣсколькими членами тамошней Академіи Наукъ. Происходило это въ 1782 году, когда мысль о возможныхъ отношеніяхъ между химическими и электрическими процессами стала болѣе привычной въ кругу научныхъ изслѣдователей, и предстояло рѣшить вопросъ, нельзя-ли получить электричество при помощи химическихъ процессовъ. Средства, которыми воспользовались для рѣшенія этого вопроса, были слишкомъ мало пригодны для того, чтобы доказать такіа отношенія. Были, правда, констатированы слѣды образовавшагося электричества при раствореніи желѣза въ сѣрной кислотѣ, но при условіяхъ, не внушавшихъ

охоты къ дальнѣйшему производству опытовъ. Такимъ образомъ этотъ путь привелъ ученыхъ къ тупику. Обратимся теперь къ другому пути, которому суждено было вывести ихъ на дорогу съ необозримымъ горизонтомъ.

Глава третья.

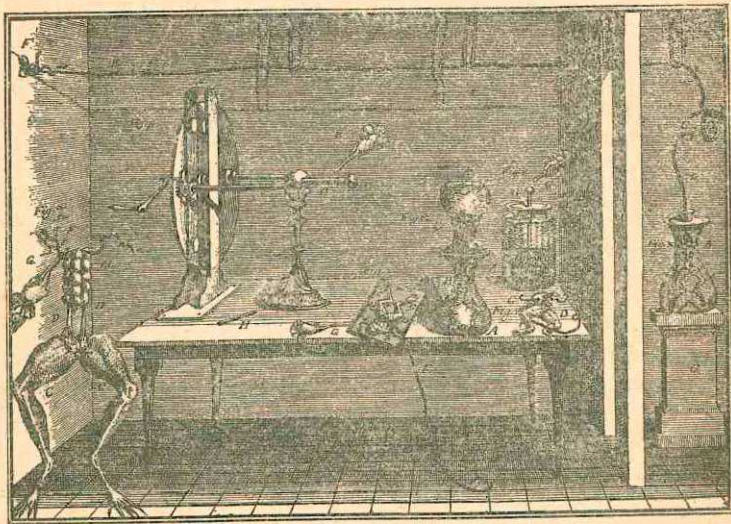
Гальвани и Вольта.

Правда, въ началѣ новаго пути цѣль, къ которой ему суждено было привести, совсѣмъ и не предвидѣлась. Въ началѣ казалось, что онъ ведетъ въ самую глубь проблемы жизни, обѣщая ея разрѣшеніе. Но скоро онъ противъ воли ученаго, открывшаго его, сталъ отклоняться въ область чистой физики. Впрочемъ, и реформаторъ, повернувшій его въ эту сторону, тоже не могъ установить его направленіе, и—опять противъ его воли—окончательное направленіе новаго пути опредѣлилось въ сторону химіи. Ученые, съ именами которыхъ связаны эти удивительныя отклоненія новаго пути, суть Гальвани, Риттеръ, Вольта и Дэви.

Л. Гальвани родился въ 1737 году въ городѣ Болоньѣ и всю свою жизнь провелъ въ тѣсной связи съ его издревле знаменитымъ университетомъ. Самъ онъ происходилъ изъ семьи, насчитывавшей въ своей средѣ не мало профессоровъ и другихъ университетскихъ служащихъ, рано получилъ мѣсто учителя анатоміи, женился на дочери профессора Галеацци, и имя его кануло бы, вѣроятно, въ лету относительнаго забвенія вмѣстѣ съ большимъ числомъ другихъ профессоровъ, трудолюбивыхъ, но не особенно возвышавшихся надъ уровнемъ времени, если бы въ довольно преклонномъ уже возрастѣ (близко къ 50 годамъ) ему не удалось случайно сдѣлать открытіе, сдѣлавшее скоро его имя

извѣстнымъ всему культурному міру, сохранившее его до настоящаго времени и обезпечивающее ему долгую память и въ будущемъ. Онъ самъ излагаетъ исторію своего открытія слѣдующимъ образомъ:

„Дѣло началось такъ. Я препарировалъ лягушку, какъ это изображено на фиг. 1, и, снабдивъ ее всѣмъ необходимымъ, положилъ на столъ, на которомъ стояла



Фиг. 1.

электрическая машина, на значительномъ разстояніи отдаленная отъ своего кондуктора... Какъ только одинъ изъ моихъ помощниковъ коснулся, совершенно случайно, кончикомъ пинцета внутреннихъ бедренныхъ нервовъ DD лягушки, мышцы суставовъ ея стали сокращаться, какъ будто въ сильныхъ тоническихъ судорогахъ. Другой мой помощникъ, однако, увѣрялъ, что это произошло тогда, когда была извлечена искра изъ кондуктора электрической машины. Приведенный

въ изумленіе этимъ новымъ явленіемъ, онъ обратилъ на него мое вниманіе, ибо я былъ занятъ чѣмъ-то другимъ и, задумавшись, не замѣтилъ ничего. У меня явилось до невѣроятности страстное желаніе провѣрить это явленіе и выяснить, что за нимъ скрывается. Я самъ поэтому прикоснулся кончикомъ ножа сначала къ одному, затѣмъ къ другому бедренному нерву, и въ этотъ же моментъ одинъ изъ присутствующихъ вызвалъ электрическую искру. Явленіе повторилось такимъ же образомъ, какъ раньше. Несомнѣнная, сильная сокращенія охватывали отдѣльныя мышцы суставовъ въ тотъ самый моментъ, когда появлялась искра, какъ будто бы препарированное животное было охвачено явленіемъ тетануса“.

Передъ нами здѣсь типичная исторія случайнаго открытія. Исслѣдователь занятъ совсѣмъ другими вещами, но среди условій его работы оказываются на лицо, между прочимъ, такія условія, которыя вызываютъ новыя явленія. Случайности этого рода встрѣчаются гораздо чаще, чѣмъ объ этомъ можетъ повѣдать намъ исторія, ибо въ большинствѣ случаевъ такія явленія или вовсе не замѣчаются, или если и замѣчаются, то не подвергаются научному изслѣдованію. Поэтому, кромѣ случайности здѣсь существенно важно еще „до невѣроятности страстное желаніе“ изслѣдовать новый фактъ. Вотъ такое-то желаніе очень часто отсутствуетъ, потому ли, что первоначальная задача, поставленная себѣ изслѣдователемъ, поглощаетъ весь его интересъ, такъ что все новое служить лишь помѣхой, съ устраненіемъ коей все дѣло и кончается, или потому, что изслѣдователь создаетъ себѣ временное „объясненіе“, удовлетворяющее до извѣстной степени его пытливость. Особая же даровитость ученаго обнаруживается именно въ томъ, что, замѣтивъ слѣдъ новаго открытія, онъ, не отрываясь, прослѣживаетъ его,

подобно лѣниво бродящей гончей, которая вся напрягается, едва почуявъ дичь. Эту мгновенную, почти бессознательную реакцію и обнаруживаетъ Гальвани, согласно собственному его описанію.

Самое интересное во всей этой исторіи то, что у Гальвани не было вовсе основанія приходить въ столь большое волненіе. Что электрическіе разряды вызываютъ сокращенія мышцъ, было извѣстно уже и раньше. Въ такой же мѣрѣ было извѣстно, что электрическій разрядъ вызываетъ близъ себя электрическіе процессы и въ такихъ проводникахъ, которые съ первичной цѣпью вовсе не связаны; явленіе это называлось „обратнымъ ударомъ“ разряда. Если бы Гальвани обладалъ всѣми научными познаніями своего времени, ему не трудно было бы создать себѣ цѣлую теорію по поводу наблюденнаго имъ явленія, такъ что пытливость его могла бы быть вполне удовлетворена.

Къ счастью для науки познанія его не были столь широки, и онъ сталъ самымъ разнообразнымъ образомъ измѣнять свои опыты, чтобы найти причину явленія. Что оно находится въ той или иной связи съ электрическимъ разрядомъ, установить было не трудно. Въ особенности онъ заинтересовался вопросомъ, можетъ ли оказать то же самое дѣйствіе и атмосферное электричество. Повѣсивъ препарированное бедро лягушки при помощи желѣзнаго крючка на балюстрадѣ,—тоже желѣзной,—своего балкона, онъ получилъ во время грозы тѣ же сокращенія мышцы. Тогда онъ захотѣлъ узнать дѣйствіе атмосфернаго электричества, когда это послѣднее и не разряжается въ молніи, но ничего рѣшительнаго ему установить не удалось. „Утомленный долгимъ ожиданіемъ, я сталъ изгибать и прижимать крючекъ къ желѣзной балюстрадѣ, — при чемъ крючекъ прокололъ спинной мозгъ лягушки, — чтобы посмотреть, не вызову ли я этимъ мышечныя движенія... Неодно-

кратно я замѣчалъ, правда, кое-какія сокращенія мышцъ, но въ всякой связи съ различнымъ состояніемъ атмосферы и электричества“. Онъ рѣшилъ, поэтому, что его аппаратъ препарированной лягушки есть собиратель атмосфернаго электричества. „Но какъ легко мы сами вводимъ себя въ заблужденіе своими опытами: мы слишкомъ часто видимъ и находимъ именно то, что мы хотимъ видѣть и находить“. Вслѣдствіе этого Гальвани возобновилъ свои опыты въ комнатѣ. Положивъ свой препаратъ на желѣзную доску, онъ прикоснулся погруженной въ спинной мозгъ лягушки проволокой къ желѣзу. Мышцы сокращались всякій разъ, когда крючекъ былъ металлическій, и сокращенія эти были сильнѣе или слабѣе въ зависимости отъ металла, изъ котораго сдѣланъ былъ крючекъ. Особенно ясны были сокращенія, когда онъ одной рукой держалъ препаратъ за крючекъ такъ, что лапки лягушки касались серебряной чашки, а въ другую руку бралъ металлическую палочку и прикасался ей къ чашкѣ. Но всего яснѣе они были, когда свободныя части нервовъ обкладывались станіолемъ, какъ лейденская банка, и устанавливалась какая-нибудь металлическая связь между этой обкладкой и мышцами. Случайно было также замѣчено, что, если проводящая цѣпь между нервомъ и мышцей состояла изъ различныхъ металловъ, то сокращенія были гораздо сильнѣе, чѣмъ въ случаѣ металловъ однородныхъ; въ первомъ случаѣ получались сокращенія у старыхъ и утомленныхъ препаратовъ, въ которыхъ простыя дуги не вызывали уже сокращеній. Сокращеній вовсе не бывало, когда часть дуги разрядника состояла изъ вещества, не проводящаго электричества.

Гальвани обобщилъ всю совокупность своихъ наблюденій въ теорію, согласно которой препаратъ есть самодѣтельно заряжающаяся лейденская банка, ко-

торая при прикосновеніи металлической дуги разрядника разряжается, чѣмъ и вызываются мышечныя сокращенія. Каждое мышечное волокно въ отдѣльности представляетъ, согласно этой теоріи, элементарную лейденскую банку, внутренняя обкладка которой образуется изъ нервоподобнаго волокна, служащаго проводникомъ. Мозгъ, согласно этой теоріи, обладаетъ способностью направлять въ мышцу электрическую жидкость и вызывать электрическій разрядъ.

Эти открытія, — чрезвычайно удивительныя, — были плодомъ многолѣтнихъ трудовъ Г а л ь в а н и. Въ 1791 г. они были изложены въ написанной по латыни статьѣ, въ седьмомъ томѣ сочиненій академіи въ Болоньѣ. Они вскорѣ вызвали величайшее вниманіе къ себѣ и внесли много горя въ мирное существованіе бѣдныхъ лягушекъ, ставшихъ съ тѣхъ поръ „мучениками науки“. Вездѣ опыты Гальвани были повторены и во всемъ существенномъ подтвердились. Казалось, что найдена тайна жизни и именно въ электричествѣ, и этотъ самообманъ ученыхъ того времени тѣмъ болѣе извинителенъ, что еще болѣе полувѣка спустя знаменитый фیزیологъ Д ю б у а - Р е й м о н ъ положилъ ту же мысль въ основу всей своей научной дѣятельности.

Послѣ обнародованія его великаго открытія условія жизни Гальвани ухудшились. Возгорѣлась весьма страстная полемика въ дѣлѣ истолкованія наблюденныхъ имъ явленій; эта полемика дала толчекъ зарожденію двухъ школъ, что принесло ему очень много неприятностей. Кромѣ того, его постигли и другія несчастія личнаго характера. Самое важное среди нихъ — потеря жены, которой молва приписываетъ значительное участіе въ его открытіяхъ. Измѣнился и политическій строй на его родинѣ и, когда, онъ отказался присягнуть на вѣрность Цизальпинской республикѣ, его открытіе

не защитило его отъ потери всѣхъ должностей. Наконецъ, онъ заболѣлъ какой-то болѣзнью желудка, причинявшей ему весьма сильныя боли, и именно эта болѣзнь свела его въ могилу въ 1798 году, т. е. черезъ 7 лѣтъ послѣ обнародованія его открытія.

Посмотримъ теперь, каково было отношеніе Л у и д ж и Г а л ь в а н и къ его открытію. Не трудно видѣть, что оно было весьма для него неблагоприятно. Во-первыхъ, основное наблюденіе было впервые сдѣлано вовсе не имъ самимъ, а на него указали ему его ассистенты. Заслуга его, несомнѣнно, ему принадлежащая, заключается въ томъ, что онъ обратилъ на это явленіе вниманіе и изучилъ его. Но для полного изученія этого явленія онъ не обладалъ достаточной медицинской подготовкой даже съ точки зрѣнія требованій своего времени. Вслѣдствіе этого, онъ не былъ въ состояніи отдѣлать чисто физико-химическую сторону отъ фیزیологической. Это дало возможность Вольта доказать, какъ мы это сейчасъ увидимъ, его мнимую ошибку. Мастерски разработавъ физико-химическую сторону этого явленія, онъ и самъ пришелъ къ мысли, что фیزیологическаго электричества вообще нѣтъ, и современниковъ своихъ убѣдилъ въ этомъ. Лишь гораздо позже оказалось, что взгляды Гальвани на возникающіе при опредѣленныхъ условіяхъ опыта электрическіе процессы въ самомъ организмѣ, имѣетъ свои правильныя стороны, и что тѣ изъ его экспериментовъ, въ которыхъ наблюдались сокращенія мышцъ и при одной только металлической дугѣ и безъ всякаго металла, дѣйствительно могутъ быть объяснены исключительно тѣми дѣйствіями, какія онъ представлялъ себѣ. Самой важной причиной, почему дѣло изученія этого явленія приняло столь неблагоприятный оборотъ для Гальвани, было собственно то, что онъ

не обратилъ никакого вниманія на одинъ фактъ, не смотря на то, что онъ наблюдалъ его. Это—тотъ фактъ, что сокращенія мышцъ были сильнѣе, когда цѣпь состояла изъ двухъ разнородныхъ металловъ. Онъ долженъ былъ сказать себѣ, что обстоятельство, имѣющее столь сильное вліяніе на главное явленіе, не можетъ не имѣть и существеннаго для него значенія. При его взглядѣ на металлическую дугу, какъ на проводникъ, по которому разряжается допущенное имъ собственное электричество мышцы, оставалось непонятнымъ, почему въ случаѣ двухъ различныхъ металловъ сокращенія мышцы бываютъ въ такой мѣрѣ сильнѣе, чѣмъ въ случаѣ цѣпи изъ одного металла; скорѣе слѣдовало допустить обратное. Можно привести не мало доказательствъ изъ частной исторіи того или другого ученаго, а равно и изъ общей исторіи науки тому факту, что такія „несогласія“ теоріи съ фактами въ послѣдствіи оказываются рѣшающими моментами, опредѣляющими выборъ того или другого объясненія. По этому, врядъ ли найдется болѣе важное для начинающаго изслѣдователя правило, чѣмъ слѣдующее: въ подобныхъ случаяхъ ученый не долженъ успокоиться до тѣхъ поръ, покуда онъ не выяснитъ вполне, какое имѣетъ значеніе такого рода несогласіе. Если такое изслѣдованіе заставитъ его совершенно разрушить столь прекрасно построенное теоретическое зданіе, пусть онъ объ этомъ не жалѣетъ: онъ получилъ лишь предостереженіе не строить негодное зданіе, участь котораго—или развалиться въ результатъ собственныхъ его дальнѣйшихъ научныхъ изслѣдованій, или,—что еще хуже,—разлетѣться въ прахъ подъ дуновеніемъ серьезной критики.

Можетъ быть, кто-нибудь скажетъ: легко говорить послѣ вѣковой научной работы, читать мораль заслуженному ученому и разъяснять ему, какъ ему слѣдо-

вало работать. На это можно возразить, что къ счастью ученый-то этотъ о нашихъ разсужденіяхъ ничего не знаетъ, такъ что ему лично мы никакой непріятности не наносимъ, а для посмертной его славы важно же точно взвѣсить всѣ pro и contra. Наконецъ,—и это самое важное! — наше отношеніе, —отношеніе послѣдующихъ поколѣній,—къ ученымъ прежнимъ можетъ быть опредѣлено въ слѣдующихъ словахъ: мы имѣемъ возможность, а, слѣдовательно, и обязаны извлечь изъ жертвъ, которыя они лично принесли для развитія науки, возможно больше выгодъ для этой самой науки. А для этого субъективно-психологическое изученіе ихъ работы и условій работы не менѣе важно, чѣмъ объективное изученіе содержанія ихъ открытій. Не мѣшаетъ же намъ все наше почтеніе къ великимъ работникамъ науки прошлаго отвергать въ ихъ взглядахъ все, что оказывается въ противорѣчій съ современной нашей наукой. Въ такой же мѣрѣ это почтеніе не должно помѣшать нашему анализу ихъ жизни и характера ихъ работы со всей необходимой научной объективностью, чтобы извлечь отсюда урокъ, какъ, съ одной стороны, дѣлать открытія, такъ, съ другой стороны, избѣгать ошибки при разработкѣ ихъ. Только при такомъ отношеніи къ дѣлу жертвы прежнихъ ученыхъ, въ которыхъ никогда не будетъ недостатка, принесутъ на самомъ дѣлѣ всѣ тѣ благодѣянія для человечества, какихъ они сами отъ всего сердца желали.

Когда дѣлается столь замѣчательное открытіе, какъ открытіе Гальвани, которое къ тому же столь легко вездѣ провѣрить, то люди произвольно и почти неодолимо принимаютъ основную идею ученаго для его объясненія, и критика, въ которой никогда, конечно, недостатка нѣтъ, въ большинствѣ случаевъ ограничивается второстепенными и маловажными вещами. Такъ произошло и въ данномъ случаѣ. Самый опасный про-

тивникъ Гальвани, А. Вольтъ сначала стоитъ всецѣло на точкѣ зрѣнія Гальвани и развиваетъ далѣе его мысль о собственномъ электричествѣ животныхъ. Эта позиція, хотя и напрашивалась сама собой, все же не была необходима. Доказываетъ это уже тотъ фактъ, что другіе изслѣдователи не поддались же этому внушенію. Среди этихъ изслѣдователей я назову знаменитаго клинициста, Христіана Рейля, въ то время профессора въ Галле, который высказался слѣдующимъ образомъ: „Разъясненій насчетъ жизненной силы, сообщающей мышцамъ способность сокращаться, я отъ этихъ явленій не ожидаю. На мой взглядъ они доказываютъ только то, что мышцы очень чувствительны къ дѣйствію электричества, и минимальнаго количества его, развивающагося при прикосновеніи различныхъ металловъ, достаточно, чтобы вызвать ихъ сокращенія. Послужать ли эти опыты въ послѣдствіи для того, чтобы опредѣлять электричества различныхъ металловъ, или они приведутъ къ открытію новыхъ средствъ противъ паралитическихъ заболѣваній, покажетъ будущее“. Въ первой части этой цитаты мы находимъ точную программу того, что въ послѣдствіи осуществилъ Вольтъ, не исключая того, весьма извинительнаго въ его время, заблужденія, будто при прикосновеніи металловъ развивается электричество. Подтвердилась и вторая медицинская часть.

Цитата эта была написана въ 1792 году. Въ этомъ же году была обнародована первая работа А. Вольтъ, въ то время профессора физики при университетѣ въ Павіи, о явленіяхъ, открытыхъ Гальвани. Создавъ себѣ уже имя различными физическими и химическими работами, онъ на 47 году жизни приступилъ къ этимъ новымъ изслѣдованіямъ, которымъ суждено было прославить его имя гораздо больше, чѣмъ все сдѣланное имъ до этихъ поръ.

Въ работѣ, обнародованной въ 1792 году, онъ сначала всецѣло примыкаетъ къ Гальвани и даже общаетъ чрезвычайно остроумно придуманный опытъ, при помощи котораго онъ пытался опредѣлить въ мышцѣ, рассматриваемой, какъ лейденская банка, направленіе электрическаго заряда. Пропустивъ весьма слабый разрядъ сначала отъ мышцы къ нерву, а потомъ въ противоположномъ направленіи, онъ получилъ сокращенія мышцы совершенно различной силы. Этотъ фактъ онъ объяснилъ тѣмъ, что въ случаѣ сильнаго сокращенія направленія обоихъ зарядовъ складывались, а въ случаѣ слабаго сокращенія были противоположны. Отсюда онъ сдѣлалъ выводъ, что нервъ здѣсь служитъ катодомъ, а оболочка мышечнаго волокна — анодомъ. Гальвани по нѣкоторымъ соображеніямъ, совсѣмъ недостаточнымъ, принималъ противоположное.

Гальвани въ своемъ отвѣтѣ попытался защитить свой взглядъ, что ему какъ будто бы и удалось при помощи теоріи лейденской банки, специально для этого придуманной, но физически совершенно неправильной. Вольтъ въ отвѣтъ сначала опровергъ эту теорію, доказавъ, что сокращенія мышцъ получаются и тогда, когда электрическая цѣпь, кромѣ металловъ, заключаетъ въ себѣ только часть нерва, но вовсе не содержитъ мышцы. Но вскорѣ вслѣдъ за этимъ его вниманіе привлекло особенно сильное дѣйствіе цѣпи, включающей два различныхъ металла, и онъ сталъ намекать, сначала, правда, въ весьма неопредѣленныхъ еще выраженіяхъ, что именно здѣсь слѣдуетъ искать ключъ къ рѣшенію загадки.

Работѣ на этомъ новомъ пути онъ и посвятилъ нѣсколько лѣтъ. Въ предварительномъ сообщеніи отъ ноября 1792 года (письмо Рейля, о которомъ мы упомянули выше, датировано отъ 1 ноября 1792 года

и, слѣдовательно, относится къ тому же времени) мы находимъ основную идею, что лягушечный препаратъ есть весьма чувствительный электроскопъ, дающій возможность доказать образованіе электричества при новыхъ условіяхъ, именно при прикосновеніи металловъ. „И въ концѣ концовъ въ этомъ и весь результатъ отъ подобнаго рода соединенія металловъ: при этихъ условіяхъ они являются не только проводниками, какъ въ другихъ случаяхъ, но и истинными двигателями и возбуждателями электричества, и именно въ этомъ заключается открытіе величайшей важности.“

Въ письмахъ къ различнымъ лицамъ, которыя вскорѣ и были напечатаны въ научныхъ журналахъ, постепенно намѣчаются отдѣльныя фазы развитія этой основной идеи. Но только въ 1796 году Вольтъ получилъ столь большую увѣренность въ своей правотѣ, что рѣшился изложить свою теорію въ цѣломъ. Большимъ затрудненіемъ явилось то обстоятельство, что при томъ чрезвычайно маломъ напряженіи электричества, которое здѣсь имѣлось на лицо, обычные способы доказательства присутствія его оказались несостоятельными. Но воспользовавшись, помимо этого, еще опытомъ раздраженія вкусового аппарата приложеніемъ различныхъ металловъ къ верхней и нижней сторонѣ языка (опытъ былъ весьма старъ и описанъ уже Сульцеромъ въ 1760 году) — опытомъ, позволявшимъ узнать даже направленіе возбужденія, — а также опытомъ возбужденія свѣтовыхъ раздраженій въ глазахъ при соответствующихъ условіяхъ, онъ успѣлъ выяснитъ свою теорію въ главныхъ чертахъ. Такъ онъ писалъ Грену, издателю „Анналовъ физики“: „Вы видите теперь, въ чемъ заключается вся тайна, все дѣйствіе гальванизма. Это ничто иное, какъ искусственное электричество, приведенное въ движеніе прикосновеніемъ двухъ разнород-

ныхъ проводниковъ“. До этого Вольтъ показалъ, что всегда должно быть на лицо, по меньшей мѣрѣ, три различныхъ проводника. Ибо два проводника могутъ быть соединены только въ симметричскій кругъ, а, согласно провозглашенному Лейбницемъ принципу достаточнаго основанія, невозможно тогда указать, почему бы движенію электричества происходить скорѣе въ одномъ, чѣмъ въ другомъ направленіи, откуда вытекаетъ, что оно вообще не должно происходить. Нужно не менѣе трехъ проводниковъ, дабы расположить ихъ такъ, чтобы могли получиться два различныхъ порядка, не сводимыхъ другъ къ другу общимъ вращеніемъ, именно:

$$\begin{matrix} A & & A \\ B & C & и & C & B. \end{matrix}$$

Только здѣсь, слѣдовательно, становится вообще возможнымъ токъ опредѣленнаго направленія. Проводниками могутъ быть, устанавливаетъ Вольтъ, два металла и одна жидкость или также двѣ жидкости и одинъ металлъ. По вопросу о томъ, что происходитъ въ случаѣ прикосновенія трехъ металловъ или трехъ жидкостей, — вопросу весьма важному, — онъ еще не высказывается.

Дѣло въ томъ, что сначала приходилось преодолевать другое экспериментальное затрудненіе. Гальвани доказалъ, что дѣйствіе прерывалось, какъ только въ цѣпь включался какой-нибудь не-проводникъ электричества, и отсюда онъ сдѣлалъ выводъ, что передъ нимъ дѣйствительно явленія электрическія. Впослѣдствіи полное сходство между условіями проводимости новыхъ явленій и условіями проводимости обыкновеннаго электричества многократно подтвердилось. Вмѣстѣ съ тѣмъ обнаружилось, однако, что извѣстныя различія все же существуютъ: тѣ или иные вещества, которыя для электричества отъ тренія были проводниками, гальва-

ническія дѣйствія прерывали; къ такимъ веществамъ принадлежала, на примѣръ, сухая кость. Впослѣдствіи оказалось, что различія здѣсь только количественныя: весьма слабое напряженіе электричества въ опытахъ Гальвани не можетъ преодолѣть сопротивленій, которыя высокимъ напряженіемъ электричества отъ тренія преодолеваются. При всемъ томъ оказалось научно необходимымъ найти и независимое доказательство электрической или не-электрической природы этихъ явленій, и рѣшенію этой задачи Вольта отдался весь со всей силой своего генія.

И здѣсь сохранились для потомства въ его письмахъ къ друзьямъ всѣ ступени, черезъ которыя прошло развитіе его мысли. Послѣ критической оцѣнки и осужденія старыхъ, менѣе надежныхъ формъ, онъ набрелъ, наконецъ, въ 1797 г. на опытъ, который съ тѣхъ поръ въ теченіе цѣлаго столѣтія приводился въ лекціяхъ по физикѣ подъ именемъ основнаго опыта Вольта, и только критика новѣйшаго времени доказала и его неправильность. Заключается онъ, какъ извѣстно, въ томъ, что приводятся въ соприкосновеніе двѣ отшлифованныя пластинки изъ цинка и серебра или мѣди, затѣмъ, изолировавъ каждую въ отдѣльности, отдѣляютъ ихъ другъ отъ друга и испытываютъ электрическое ихъ состояніе при помощи какого-нибудь чувствительнаго электроскопа (ихъ и тогда уже было не мало). Оказывается тогда (если опытъ удаченъ, ибо и онъ имѣетъ свои особенности), что цинкъ заряженъ положительнымъ, а серебро или мѣдь — отрицательнымъ электричествомъ. Вольта видѣлъ въ этомъ доказательство того, что электричество обязано своимъ происхожденіемъ прикосновенію металловъ, а соприкосновеніе металловъ съ жидкостями не важно или, по крайней мѣрѣ, не существенно важно. Такъ какъ мы въ настоящее время знаемъ, что вѣрно именно

обратное, то представляетъ большой интересъ найти источникъ ошибки Вольта.

Причина этой ошибки заключается въ томъ, что ни тогда, ни гораздо позже не было вообще возможности давать этому вопросу однозначное рѣшеніе. Дѣло въ томъ, что какъ ни устроить опытъ, можно приписать существующее электричество какъ тому, такъ и другому источнику, и различныя объясненія обуславливаютъ лишь формальныя, но никогда не качественныя или количественныя различія результата. Какъ это происходитъ, будетъ всего лучше изложить, когда мы будемъ разбирать законъ Вольта касательно напряженія электричества, и мы, поэтому, удовлетворимся здѣсь лишь этимъ предварительнымъ указаніемъ. Вольта обнаружилъ въ это время весьма большія еще колебанія въ своихъ объясненіяхъ. Такъ, онъ самымъ опредѣленнымъ образомъ упоминаетъ о томъ, что онъ долгое время предпочиталъ допущеніе, будто наблюдаемое явленіе существенно зависитъ отъ соприкосновенія металла съ влажнымъ проводникомъ. Рѣшающее для него значеніе имѣлъ именно упомянутый только что основной опытъ, въ которомъ электричество, по его мнѣнію, вызывается исключительно соприкосновеніемъ металловъ, безъ всякаго содѣйствія влажнаго проводника.

Тутъ въ работахъ Вольта наступаетъ какъ будто перерывъ. Онъ, однако, не отдыхалъ, а занялся подготовительными работами для дальнѣйшей разработки проблемы. Наступленіе новаго столѣтія (по обычнымъ, но неправильнымъ вычисленіямъ), 1800 годъ, ознаменовалось новымъ великимъ успѣхомъ: Вольта придумалъ столбъ, носящій его имя.

Очевидно, что трудность доказать присутствіе весьма небольшихъ количествъ электричества при отдѣльномъ сочетаніи разнородныхъ проводниковъ, заставила Воль-

та задуматься надъ вопросомъ, какъ бы это слабое напряженіе усилить сложеніемъ однородныхъ элементовъ. Въ концѣ отчета о прежнихъ своихъ работахъ онъ выражается объ этомъ нѣсколько иронически. „Существуютъ, однако, еще люди, на которыхъ такіе опыты производятъ больше впечатлѣнія, когда знаки полученнаго электричества довольно велики, когда электрометръ показываетъ много градусовъ, или стрѣлка отклоняется на довольно большой уголъ, если не ударяется совсѣмъ о стѣнки сосуда... Хотѣли бы они даже увидѣть искру... нужно еще удовлетворить и этихъ людей“. Но повидимому, онъ отнесся къ этимъ требованіямъ гораздо серьезнѣе, чѣмъ онъ самъ здѣсь изображаетъ, ибо онъ много лѣтъ втихомолку работалъ надъ ихъ выполненіемъ, и когда ему это удалось, онъ на этомъ закончилъ всю свою творческую дѣятельность, хотя послѣ этого жилъ еще не мало.

Его новая идея сводилась къ тому, что онъ расположилъ въ опредѣленный рядъ три различныхъ соприкасающихся между собою проводника и эту тройку многократно повторилъ, такъ что достигнутое напряженіе представляло собою сумму всѣхъ отдѣльныхъ напряженій. Что можно такъ складывать напряженія, заранѣе предвидѣть было невозможно, и въ постиженіи этой возможности, какъ и въ экспериментальномъ осуществленіи идеи, и заключается тотъ великій успѣхъ, которымъ является изобрѣтеніе столба Вольта. Вмѣстѣ съ тѣмъ произошло явленіе, о которомъ мы говорили на стр. 38. Дѣло въ томъ, что количественнымъ увеличеніемъ напряженія былъ перейденъ порогъ, и многія специфически-химическія дѣйствія гальваническаго электричества или электричества Вольта, при однократномъ устройствѣ невозможныя или незамѣтныя, здѣсь обнаружилились. Появленіе

же качественно новыхъ явленій дало толчекъ чрезвычайному развитію электрохиміи, но въ этомъ развитіи Вольта, открывшій для него путь, не принималъ уже никакого участія.

Вольта описалъ конструкцію своего новаго аппарата въ письмѣ къ тогдашнему президенту Королевскаго Общества въ Лондонѣ, Banks'у. Въ теченіе нѣсколькихъ мѣсяцевъ письмо его ходило по рукамъ среди друзей президента, и только потомъ оно стало достояніемъ остального научнаго міра, будучи напечатано въ журналѣ „Philosophical Transactions“. Этимъ объясняется тотъ фактъ, что множество новыхъ наблюденій, которыя не могъ не сдѣлать, экспериментируя со столбомъ, всякій научно образованный человѣкъ, принадлежитъ англичанамъ, имена которыхъ только по этому поводу и были занесены на скрижали исторіи науки.

Открытія въ области электрохиміи, ставшія возможными, благодаря открытію этого столба, будутъ изложены въ ближайшей главѣ въ связи съ исторіей ученыхъ, бывшихъ предтечами въ этой области. Поэтому, мы въ этой главѣ лишь закончимъ исторію открытій Вольта, касающихся электрической природы этихъ явленій.

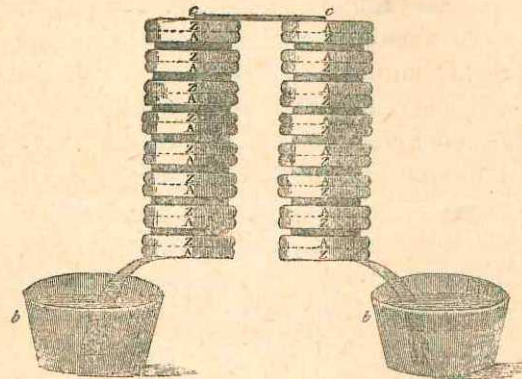
Сначала Вольта удалось при помощи методовъ конденсаціи доказать электрической разрядъ одного элемента изъ трехъ проводниковъ. Столбъ, т. е. сочетаніе многихъ такихъ элементовъ, далъ ему возможность непосредственно доказать электрическое напряженіе на концахъ ихъ. Вмѣстѣ съ тѣмъ появились блестящія явленія разряда, значительно усилившія общій интересъ къ этимъ опытамъ. Вольта далъ двѣ системы сочетаній, различавшіяся между собой, впрочемъ, только технически. Въ одной системѣ столбъ состоитъ изъ большого числа кружочковъ изъ цинка, серебра и

влажного картона; серебро вскоре было замѣнено мѣдью (впервые, повидимому, Риттеромъ). Кружки были расположены въ опредѣленномъ порядкѣ, — на примѣръ, цинкъ, серебро, картонъ, цинкъ, серебро, картонъ и т. д., — такъ что они образовывали прямо стоящій столбъ (отсюда общеупотребительное названіе его даже въ случаѣ другихъ системъ); и въ началѣ, и въ концѣ столба была помѣщена пара цинкъ—серебро; между этими концами развивалось электричество. Если концы снабжены проводящими проволоками, то соприкосновеніе этихъ послѣднихъ отмѣчается искрой или накаливаніемъ, смотря по природѣ металловъ. Во второй системѣ металлическія пластинки были соединены парами при помощи спаянной съ ними металлической ленты и погружены въ наполненные соленой водой сосуды такъ, что въ каждомъ сосудѣ оказывалась одна цинковая и одна серебрянная пластинка, принадлежавшія къ двумъ различнымъ парамъ и непосредственно между собой не соприкасавшіяся. На фиг. 2 и 3 воспроизведенъ столбъ Вольта, какъ онъ самъ располагалъ его. Доказательствомъ процессовъ, происходящихъ въ столбѣ, служили, кромѣ искры при соприкосновеніи проволокъ, и толчки, которые ощущались людьми, включенными въ цѣпь. Сходство этихъ толчковъ съ толчками, получаемыми при прикосновеніи къ электрическимъ рыбамъ, стало съ тѣхъ поръ для Вольта самой интересной стороной его открытія.

Изобрѣтеніе столба въ такой же мѣрѣ ускорило всеобщее признаніе заслугъ Вольта, какъ сокращенія мышцъ лягушки ускорили всеобщее признаніе заслугъ Гальвани. Повсюду и вездѣ его эксперименты повторялись, и научная, какъ и ежедневная пресса была полна отчетами объ этомъ. Наполеонъ I назначилъ большую премію за выдающіяся работы въ этой области. Первымъ получилъ эту премію Вольта. На специально для этого устроенномъ торжественномъ засѣданіи Ака-

деміи Наукъ въ Парижѣ онъ сдѣлалъ докладъ о своихъ изслѣдованіяхъ. Здѣсь же онъ сообщилъ свой знаменитый законъ, носящій его имя, но, къ сожалѣнію, въ томъ смыслѣ, какъ онъ его понималъ, ложный.

Дѣло въ томъ, что пробуя различныя конструкціи столба, Вольта часто экспериментировалъ и столбами изъ однихъ металловъ, въ надеждѣ, что ему удастся



Фиг. 2.



Фиг. 3.

найти такую систему, которая сдѣлаетъ излишней неприятную чистку пластинокъ. Цинковыя пластинки быстро покрывались налетомъ окиси цинка, уменьшавшимъ проводимость и потому мѣшавшимъ дѣйствию столба. Вольта видѣлъ въ своемъ столбѣ на стоящее *eregetium mobile*, о чемъ онъ неоднократно объявлялъ въ самыхъ опредѣленныхъ выраженіяхъ. Вслѣдствіе этого, онъ смотрѣлъ на это образованіе окиси на цинковой пластинкѣ, какъ на явленіе побоч-

ное, которое при удачномъ расположеніи можетъ быть устранено. Но ему никакъ не удавалось устроить столбъ изъ однихъ металловъ, который обнаруживалъ бы хотя самые малѣйшіе слѣды электричества.

Здѣсь Вольта оказался въ такомъ же точно положеніи, въ какомъ былъ въ свое время Гальвани. Было на лицо совершенно опредѣленное явленіе, которому его теорія о возбужденіи электричества черезъ соприкосновеніе не давала никакого объясненія, и которое, слѣдовательно, вполне опредѣленнымъ образомъ указывало на несовершенство этой теоріи. Болѣе высокое научное образованіе Вольта не позволило ему просто пройти мимо этого явленія. Напротивъ того, ему удалось устранить это затрудненіе чрезвычайно остроумно придуманной теоріей, которая давала удовлетворительное, — по крайней мѣрѣ, съ формальной стороны, — объясненіе этого факта. Входить здѣсь въ критику этой теоріи мы не можемъ, это мы сдѣлаемъ ниже. Здѣсь же пусть будетъ достаточно заявленія, что эта теорія Вольта давала удовлетворительное объясненіе всѣмъ явленіямъ, происходящимъ въ цѣпи, за исключеніемъ, правда, окисленія цинковыхъ пластинокъ, которое наблюдалось всегда. Этотъ фактъ окисленія теорія оставляла безъ объясненія, и потому онъ сыгралъ по отношенію къ ней такую же роль камня преткновенія, какую сыгралъ по отношенію къ теоріи Гальвани тотъ фактъ, что она оставляла безъ объясненія дѣйствія дуги изъ двухъ металловъ.

Я не стану здѣсь останавливаться на вытекающихъ отсюда выводахъ, такъ какъ они сами собою ясны.

Установленіемъ своего „закона напряженія“ Вольта увѣнчалъ зданіе своей научной дѣятельности, хотя долго жилъ еще и послѣ этого. Удостоившись высшихъ отличій, доступныхъ въ то время научному изслѣдова-

телю, онъ проводилъ свои годы на покоѣ въ своемъ домѣ въ Комо, въ кругу семьи и посѣщавшихъ его почитателей. Но дальнѣйшее развитіе дѣла, надъ которымъ онъ самъ такъ много поработалъ, приняло направление, которому онъ вовсе не сочувствовалъ, которое, болѣе того, оказалось даже въ противорѣчій съ собственными его основными взглядами. Такъ, онъ предоставилъ времени вернуть заблудившееся человѣчество на правильную дорогу, а самъ устранился отъ всякаго участія въ работѣ, по его мнѣнію, вредной.

Работа же эта касалась существеннаго содержанія настоящей книги, химическихъ дѣйствій вольтова столба. При помощи цитатъ изъ сочиненій Вольта не трудно доказать, что проволоки, которыя онъ соединялъ съ конечными пластинками своего столба, вторыми своими концами лежали у него рядомъ въ водѣ, такъ что между ними должно было развиваться удивительное явленіе разложенія воды электричествомъ. Въ высшей степени удивительно то, что Вольта ни однимъ словомъ не упоминаетъ о томъ, что онъ видѣлъ это явленіе или обратилъ на него вниманіе. Когда же другіе обратили на это его вниманіе, то онъ ничего другого не нашелъ сказать, какъ только то, что столбъ-де есть такая удивительная вещь, что онъ и это удивительное явленіе можетъ вызвать.

Передъ нами здѣсь одинъ изъ самыхъ горестныхъ фактовъ исторіи науки — фактовъ, которые, къ сожалѣнію, не перестаютъ повторяться даже тамъ, гдѣ соотвѣтствующее лицо въ прежніе годы своей жизни отличалось бѣльшей способностью познанія. Заключается онъ въ слѣдующемъ: въ то время, какъ наука движется впередъ равномерно ускореннымъ движеніемъ, наминающимъ приращеніе скорости свободно падающаго тѣла, развитіе отдѣльнаго человѣка можетъ быть изображено въ видѣ кривой прогрессивно возраста-

ющаго развитія въ юности, постоянной силы въ зрѣлыя годы и какъ духовнаго, такъ и физическаго упадка въ старости. Случается, что ранняя смерть вдругъ обрываетъ эту кривую въ какойнибудь точкѣ. Но если великій человѣкъ достигаетъ полной старости, то третьяго періода ему не миновать. Умъ, когда-то работавшій столь продуктивно и многообразно, сначала теряетъ постепенно память, а потомъ и способность воспринимать новое и органически связывать его съ ранѣе приобрѣтеннымъ. И тогда изслѣдователь останавливается въ области, въ которой онъ самъ столь плодотворно работалъ, на томъ мѣстѣ, до какого его силы позволили ему добрести, и, пусть онъ сначала будетъ впереди всѣхъ своихъ современниковъ, они все же догонятъ его на проложенномъ имъ самимъ пути и пройдутъ мимо его все дальше и дальше. Тогда бывшій вождь остается позади, и если онъ не понялъ, что такой поворотъ естественъ и неизбеженъ, то онъ не перестаетъ видѣть въ себѣ вождя, несмотря на то, что вмѣстѣ со способностью вести за собой другихъ онъ давно уже потерялъ способность поспѣвать за развитіемъ науки. Въ интересахъ его личнаго счастья лучше тогда будетъ, если онъ будетъ поступать, подобно Вольта, и предоставитъ жизненной силѣ самой науки найти съ теченіемъ времени правильный путь. Но есть ученые, считающіе дѣломъ своей совѣсти не поступать такъ и потому напрягающіе всѣ свои слабѣющія силы на то, чтобы всей силой своего авторитета задерживать дальнѣйшее движеніе впередъ по пути, который они признаютъ ошибочнымъ. Такъ возникаютъ по истинѣ трагическія положенія, и исторія науки гораздо болѣе богата ими, чѣмъ это представляетъ себѣ человѣкъ, стоящій въ сторонѣ отъ нея.

Глава четвертая.

Риттеръ и Дэви.

Историческія данныя, изложенныя въ предыдущей главѣ, мало какъ будто связаны съ нашей темой, ибо ни въ изслѣдованіяхъ Гальвани, ни въ изслѣдованіяхъ Вольта нѣтъ и рѣчи о процессахъ химическихъ. Но произошло это не потому, чтобы въ основѣ наблюденныхъ ими явленій не лежали причины химическія. Напротивъ, всѣ они (не исключая и физиологическихъ явленій сокращенія мышцъ безъ посредства металловъ доказанныхъ Гальвани, но не признанныхъ) были обусловлены причинами химическими. Но поиски за причинами дважды кончались неудачей: Гальвани усмотрѣлъ причину въ жизненной силѣ, а Вольта—въ соприкосновеніи металловъ.

Человѣку нашихъ дней неосуществимость идеи Вольта сейчасъ же ясна: если бы одного соприкосновенія металловъ было достаточно, чтобы создать электродвижущую силу, мы имѣли бы средство для созданія *perpetuum mobile*, т. е. для полученія (электрической) работы изъ ничего. Ясенъ былъ этотъ выводъ и Вольта, и онъ напрягалъ всѣ свои силы для его осуществленія. Ибо онъ видѣлъ въ своемъ столбѣ, какъ мы упоминали уже, настоящее *perpetuum mobile*. Такимъ образомъ то, что для современнаго естествоиспытателя служить достаточнымъ основаніемъ для того, чтобы объявить идею ложной, побуждаетъ Вольта напрячь всѣ силы для ея осуществленія.

Наконецъ, послѣ многократныхъ попытокъ онъ убѣждается въ томъ, что построить столбъ изъ однихъ металловъ невозможно, ибо всѣ его попытки кончались неудачно. И что же? Дѣлаетъ ли онъ тотъ выводъ, что основная его идея о возбужденіи электричества черезъ соприкосновеніе невѣрна? Нѣтъ, онъ предполагаетъ существованіе какого-то особаго закона, по которому всѣ его системы устройства столба оказываются негодными, такъ какъ возбужденныя напряжения оказываются всегда такими, что они въ чисто металлическомъ кругѣ взаимно уничтожаются.

Эта идея Вольты послужила источникомъ не малыхъ заботъ и множества работъ для науки на протяженіи цѣлаго столѣтія, пока не была всесторонне доказана ея неправильность. Въ виду этого обстоятельства мы не можемъ не остановиться на ней подробнѣе, хотя это и отвлечетъ насъ еще на нѣкоторое время отъ изложенія самой электрохиміи. Но зато это приведетъ насъ къ рѣшительному поворотному пункту въ развитіи этой науки. Къ тому же знакомство съ этой идеей и ея исторіей безусловно необходимо, чтобы понимать работы по электрохиміи ученыхъ XIX вѣка.

Въ довольно ранній еще періодъ своихъ работъ Вольтъ нашелъ, что дѣйствіе различныхъ металловъ далеко не одинаково сильно, а что они по силѣ своего дѣйствія могутъ быть расположены въ рядъ, члены котораго даютъ тѣмъ болѣе сильныя электрическія цѣпи, чѣмъ болѣе они удалены другъ отъ друга въ рядѣ. Далѣе, онъ установилъ, что если A , B и C суть три металла, которые, будучи соединены съ влажнымъ проводникомъ, даютъ напряжения (A, B) , (B, C) и (A, C) (въ скобкахъ отмѣчены металлы, соединенные съ влажнымъ проводникомъ), то всегда существуетъ слѣдующее отношеніе: $(A, B) + (B, C) = (A, C)$. На словахъ это можно выразить слѣдующимъ образомъ: сумма напряженій отъ A и B

съ влажнымъ проводникомъ и отъ B и C съ влажнымъ проводникомъ равна напряженію отъ A и C съ влажнымъ проводникомъ. Если, поэтому, построить цѣпь системы $AFBFC$ и другую цѣпь системы AFC (гдѣ F изображаетъ влажный проводникъ), то обѣ цѣпи будутъ имѣть равное напряженіе, какъ будто металла B вовсе не было. Далѣе, онъ, какъ мы упоминали уже, нашелъ, что можно соединять любое количество металловъ и любымъ образомъ, не получая никогда ни малѣйшаго напряженія электричества.

Очевидно, что факты эти могутъ быть истолкованы двоякимъ образомъ. Во-первыхъ, можно изъ послѣдняго наблюденія заключить, что металлы, соединенные между собой, никакихъ напряженій не даютъ, такъ что, каковы бы ни были сочетанія, напряженіе никогда не должно быть; это, дѣйствительно, и получается на опытѣ. Такъ какъ, съ другой стороны, и металлы съ влажными проводниками, и различные влажные проводники, соединенные между собой, даютъ напряжения, то очевидно, что напряжения слѣдуетъ искать въ мѣстахъ соприкосновенія металловъ съ влажными проводниками и въ мѣстахъ соприкосновенія влажныхъ проводниковъ между собой.

Въ такомъ случаѣ приходится то наблюденіе истолковывать такъ: въ цѣпи $AFBFC$ металлъ, находящійся посрединѣ, соприкасается съ обѣихъ сторонъ съ однимъ и тѣмъ же влажнымъ проводникомъ. Вслѣдствіе этого онъ развиваетъ два равныхъ, но противоположно направленныхъ напряженія, которые, поэтому, и компенсируютъ другъ друга. Далѣе, здѣсь имѣются соприкосновенія AF и FC съ соответствующими напряжениями тоже противоположно направленными. Следовательно, напряженіе, получающееся въ результатѣ, есть разность между напряже-

ніями обоихъ металловъ A и C съ жидкостью. Если помѣстить между двумя влажными проводниками любое число другихъ еще металловъ, то и ихъ напряженія уничтожатся, подобно напряженію металла B , и напряженіе, которое получится въ результатѣ, будетъ обязано своимъ происхожденіемъ только двумъ крайнимъ металламъ A и C , какъ это и подтверждаетъ опытъ. Такъ можно вычислить любое сочетание, и всегда получатся результаты, вполне совпадающіе съ данными опыта.

У Вольта все выходило наоборотъ. Онъ принималъ, что между металломъ и жидкостью вовсе не бываетъ (или бываетъ чрезвычайно мало) электричества, а напряженіе электричества, наблюденное въ дѣйствительности, обязано своимъ происхожденіемъ соприкосновенію металловъ. Но откуда же является напряженіе въ системѣ AFB , гдѣ соприкасаются только металлъ съ жидкостью, каковое соприкосновеніе никакого напряженія давать не должно было бы? Здѣсь Вольта обращаетъ вниманіе на то, что, вѣдь, нужно же эту систему соединить при помощи какого нибудь металлическаго проводника съ электрометромъ, служащимъ для измѣренія напряженія. Если этотъ электрометръ сдѣланъ изъ металла A , то цѣпь слѣдуетъ писать $AFBA$ и электрометръ, слѣдовательно, долженъ показывать напряженіе BA . Если же электрометръ сдѣланъ изъ металла B , то дѣйствительная цѣпь есть $BAFB$, и у насъ опять есть соприкосновеніе металловъ BA . Если, наконецъ, цѣпь замыкается третьимъ металломъ C , то истинная цѣпь будетъ $CAFB$, въ которой мы имѣемъ два соприкосновенія металловъ CA и BC или $BC + CA$; сумма же обоихъ напряженій, согласно закону Вольта, равна напряженію BA , такъ что опять получается то же самое. То, что цѣпь $AFBFC$ даетъ то же самое напряженіе, Вольта объясняетъ тѣмъ, что

въ самой системѣ вообще нѣтъ никакого напряженія, а оно получается лишь съ присоединеніемъ отводящихъ токъ металловъ описаннымъ здѣсь образомъ.

Иной читатель скажетъ, можетъ быть, въ нетерпѣніи: къ чему эти длинные разговоры? Достаточно же только изслѣдовать, существуетъ ли дѣйствительно какое-нибудь напряженіе между металлами, или не существуетъ! Да, если бы это только было возможно! Но, вѣдь, если привести въ соприкосновеніе два металла и затѣмъ соединить ихъ съ электрометромъ, то именно изъ закона напряженія Вольта слѣдуетъ, что вообще никакого напряженія быть не должно, ибо принятыя имъ напряженія взаимно компенсируются. Чтобы убѣдиться въ этомъ, достаточно только сосчитать по Вольта существующія напряженія и увидѣть, что они даютъ въ результатѣ нуль. Какъ ни повернуть дѣло, всегда убѣждаешься въ томъ, что обѣ точки зрѣнія возможны безъ противорѣчія, и потому при данномъ состояніи науки вообще нѣтъ никакой возможности дать однозначное рѣшеніе этого вопроса.

Ибо рѣшеніе, которое нашель, какъ ему казалось, самъ Вольта, не убѣдительно. Онъ доказалъ, что если между двумя пластинками изъ различныхъ металловъ помѣстить непроводникъ (покрыть, напримѣръ, поверхности ихъ лакомъ и затѣмъ привести въ соприкосновеніе), соединить ихъ потомъ металлически, затѣмъ соединеніе удалить и отдѣлить другъ отъ друга пластины, то онѣ оказываются заряженными электричествомъ. Здѣсь, по его мнѣнію, было только соприкосновеніе металловъ, и образованіе электричества отъ одного прикосновенія металловъ тѣмъ самымъ доказано. Но противники могли возразить, что нѣтъ вообще настоящаго непроводника, и что слой лака между обоими металлами оказалъ то же дѣйствіе, какъ и влажный проводникъ въ обыкновенной цѣпи. Даже потомъ, когда вмѣ-

сто слоя лака изоляторомъ служилъ воздухъ, тоже могло быть сдѣлано это самое возраженіе. И въ новѣйшее время, когда научились при помощи рентгеновыхъ лучей и лучей радія усиливать собственную, крайне слабую проводимость воздуха, оказалось, что такія системы на самомъ дѣлѣ обнаруживали такія качества, какъ будто бы вмѣсто воздуха въ нихъ былъ взятъ влажный проводникъ.

Само собой разумѣется, что въ эпоху, въ которую жилъ Вольтъ, до познанія этихъ вещей было очень еще далеко. Напротивъ, его опыты показались убѣдительными, теорія его—глубокой, геніальной, и породилась цѣлая интернаціональная школа ревностныхъ и даже страстныхъ защитниковъ его взглядовъ, когда по истеченіи нѣкотораго времени стали раздаваться голоса, высказывавшіе сомнѣніе въ правильности ихъ. Причиной этихъ сомнѣній та, что гдѣ только производились опыты Гальвани и Вольты, сами собой выдвигались на первый планъ процессы химическіе.

Были, однако, одни лишь отдѣльные наблюденія такихъ процессовъ, но дальше дѣло не шло. Между тѣмъ, еще въ 1792 году, т. е. за два года до изобрѣтенія столба, Иоганнъ Вильгельмъ Риттеръ установилъ тотъ основной фактъ, что рядъ напряженій металловъ, установленный Вольтъ, тождественъ съ рядомъ металловъ, расположенныхъ по средству ихъ къ кислороду. Этотъ послѣдній рядъ былъ полученъ изъ извѣстныхъ еще въ XVI столѣтіи наблюденій надъ взаимнымъ вѣдѣніемъ металловъ изъ ихъ растворовъ, согласно которымъ серебро вѣдѣется мѣдью, мѣдь—свинцомъ, свинецъ—цинкомъ и т. д.

Далѣе, извѣстны были опыты Аша въ Оксфордѣ, о которыхъ сообщалъ Гумбольдтъ и которые показали,

что цинкъ гораздо скорѣе окисляется въ водѣ, когда лежитъ на серебряной пластинкѣ. Основываясь на этихъ опытахъ, Риттеръ произвелъ слѣдующій рѣшительный опытъ. Пробуравивъ въ дощечкѣ четыре отверстія, по два отверстія рядомъ, онъ просунулъ черезъ нихъ двѣ цинковыя и двѣ висмутовыя палочки такъ, что рядомъ оказались палочки изъ различныхъ металловъ. Внизу каждая пара прикасалась къ водѣ, въ которую оба конца были одновременно погружены; кромѣ того, одна пара была и сверху соединена металлическимъ проводникомъ. Въ результатѣ оказалось, что цинкъ изъ пары, не соединенной металлически, окислился едва замѣтно, между тѣмъ какъ цинкъ изъ второй пары только потому, что онъ былъ соединенъ металломъ съ висмутомъ, въ нѣсколько часовъ окислился весьма значительно. Образовавшаяся водная окись цинка протянулась къ висмуту въ видѣ бѣлаго осадка. Опытъ былъ повторенъ въ другой формѣ. На серебряную пластинку (потертую серебряную монету) была помѣщена капля воды и съ краю положенъ кусочекъ стекла. Сверху была положена цинковая пластинка такъ, что она однимъ концомъ лежала на серебрѣ, а другимъ на стеклѣ, и водяная капля устанавливала соединеніе между обоими металлами. И здѣсь цинкъ очень быстро окислился. Но стоило только помѣстить между цинкомъ и серебромъ хотя бы только листъ бумаги, чтобы никакого окисленія не было.

Чтобы понять значеніе этихъ опытовъ, необходимо принять въ соображеніе, что въ то время тождество между гальваническимъ агентомъ и электричествомъ далеко еще не было доказано, и что для доказательства перваго не было никакого другого средства, кромѣ сокращеній мышцъ лягушки. Такъ, и Риттеръ провѣрилъ опыты Вольты сначала на препарированной лягушкѣ и затѣмъ доказалъ тождество между рядомъ металловъ,

расположенных по напряженію электричества, и рядомъ ихъ, расположенныхъ по сродству ихъ къ кислороду. Но затѣмъ онъ при помощи этихъ новыхъ опытовъ, въ которыхъ совершенно не участвовалъ никакой животный препаратъ, доказалъ, что это характерное химическое дѣйствіе производитъ и сочетаніе изъ двухъ металловъ и одной жидкости. Самой важной стороной этого открытія было для него доказательство, „что гальванизмъ дѣйствуетъ и въ природѣ неорганической“. Такъ какъ гальванизмъ тождественъ съ электричествомъ, то это было вмѣстѣ съ тѣмъ доказательствомъ образованія электричества химическимъ путемъ или,—выражаясь осторожнѣе,—причинной связи между явлениями химическими и электрическими. Ибо, когда электрическая цѣпь была прервана, не было и химическихъ дѣйствій.

Эти основные эксперименты слѣдуетъ разсматривать, какъ истинный фундаментъ научной электрохиміи. Ибо здѣсь была впервые доказана съ полной очевидностью связь между химическими и электрическими явлениями. Все, что знали до тѣхъ поръ объ „электричествѣ отъ прикосновенія“ могло быть изложено, какъ это показалъ и Вольтъ, безъ всякой связи съ явлениями химическими. Вѣдь, до момента изобрѣтенія столба Вольтъ, т. е. до 1800 года, былъ извѣстенъ только, такъ называемый, „простой“ гальванизмъ, т. е. были извѣстны только явленія, образующіяся при соединеніи двухъ металловъ съ жидкими проводниками. На языкѣ современной науки это означаетъ, что не были извѣстны напряженія выше одного, приблизительно, вольтъ. Такимъ образомъ настоящіе электролитическіе процессы вовсе не могли быть даже вызваны, ибо они болѣе частью имѣютъ болѣе сильную поляризацию. Все это вдругъ измѣнилось только тогда, когда открытіе столба дало возможность въ любой мѣрѣ усилить на-

пряженіе и такимъ образомъ электрическимъ токомъ разлагать химическія соединенія.

Прежде чѣмъ перейти къ описанію этого столь же внезапнаго, какъ и блестящаго развитія науки, скажемъ нѣсколько словъ о личности Риттера, къ которому историки науки до сихъ поръ относились чрезвычайно несправедливо, почти совсѣмъ о немъ не упоминая и въ особенности не выдвигая его, какъ основателя электрохиміи.

Іоганнъ Вильгельмъ Риттеръ родился въ 1776 году въ Самицѣ, въ Силезіи. Родители его были очень бѣдны. Чтобы удовлетворить свое стремленіе къ изученію естественныхъ наукъ, онъ поступилъ на службу въ аптеку. Съ теченіемъ времени ему удалось добраться до университета въ Іенѣ, гдѣ онъ вскорѣ обнаружилъ совершенно невѣроятную работоспособность, раньше въ роли студента, а очень скоро и въ роли преподавателя. Нѣсколько студентовъ однажды обратились къ нему съ просьбой прочесть рядъ лекцій о гальванизмѣ, который въ то время занималъ умы. Коллегія профессоровъ въ Іенѣ не пожелала дать на то разрѣшеніе, потому что онъ не имѣлъ для этого соотвѣтственнаго научнаго ценза, и потребовалось вмѣшательство герцога Карла Августа (который и въ этомъ случаѣ обнаружилъ свои анти-филистерскія убѣжденія), чтобы устранить эти формальныя препятствія. Изъ Іены Риттеръ на нѣсколько лѣтъ переѣхалъ въ Готу. Здѣсь условія работы были болѣе благопріятны: тогдашній герцогъ Готы и Альтенбурга, Эрнстъ II, живо интересовался естественными науками и далъ средства для построенія необыкновенно большого столба. Къ сожалѣнію, онъ вскорѣ умеръ, и Риттеръ сталъ вести непостоянную жизнь странника, живя то въ Іенѣ, то въ Веймарѣ, то въ Готѣ. Такъ дѣло продолжалось до 1804 года, когда онъ былъ приглашенъ академикомъ въ Мюнхенъ. Но и тамъ при луч-

шихъ доходахъ онъ тоже не сумѣлъ сводить концы съ концами, вслѣдствіе чего ему и пришлось бороться со всевозможными затрудненіями. Ухудшило еще его положеніе то обстоятельство, что онъ выступилъ въ защиту Камппети изъ Гаргано, у озера Гардъ, что поссорило его съ коллегами. Умеръ онъ въ 1810 году въ возрастѣ не болѣе 34 лѣтъ.

Въ немногіе годы своей научной дѣятельности Риттеръ обнаружилъ прямо сказочную работоспособность, совершивъ при этомъ нѣсколько открытій первостепеннаго значенія. О томъ, что онъ былъ основателемъ электрохиміи, мы говорили уже выше; къ тому же онъ первый построилъ, такъ называемый, сухой столбъ (который обыкновенно называется столбомъ Замбони, по имени ученаго, открывшаго его позже) и первый создалъ правильную теорію его. Онъ открылъ поляризацию, аккумуляторъ и электрохимическія свойства амальгамы, далѣе (одновременно съ англійскими физиками), разложеніе воды при помощи вольтова столба, электроскопическія условія его, явленія движенія поляризованной ртути и, наконецъ, также ультрафіолетовые лучи спектра, не говоря уже о безчисленныхъ работахъ въ области электрофизиологіи. Всѣ эти изслѣдованія свои онъ описалъ въ чрезвычайно объемистыхъ сочиненіяхъ, изъ которыхъ ни одно, впрочемъ, не дошло до насъ въ качествѣ классическаго документа научнаго прогресса.

Объясняется это удивительное явленіе тѣмъ, что и Риттеръ принадлежалъ къ тому типу чрезвычайно быстро производящихъ свои изслѣдованія ученыхъ, съ которыми мы познакомились уже въ лицѣ Пристлея. Къ тому же онъ весь погрязъ въ нѣмецкой натуръ-философіи, краткій расцвѣтъ которой какъ разъ тогда приближался; въ естествоиспытатель-мистикъ и тех-

никъ, Новалисъ (фонъ Гарденбергъ) онъ видѣлъ свой идеалъ. Не одинъ однако фантастическія идеи толкнули его къ этому направленію, что доказываетъ его преклоненіе передъ Герднеромъ, однимъ изъ самыхъ творческихъ умовъ Германіи. Внѣшнимъ послѣдствіемъ этого мировоззрѣнія былъ чрезвычайно спутанный стиль, изъ-за котораго почти невозможно читать его работы. Кромѣ того, онъ и отсылалъ ихъ въ типографію такъ, какъ писалъ, не давая себѣ труда отдѣлать ихъ. Мы находимъ въ нихъ, поэтому, рядомъ съ отчетами объ остроумно придуманныхъ экспериментальныхъ работахъ какія-то фантастическія отклоненія. Но занимался онъ своими работами съ самымъ живымъ интересомъ и рвеніемъ въ теченіе всей своей жизни, благодаря чему ему и удалось видѣть первому столь много важнаго и новаго. Далѣе, онъ обладалъ также, независимо отъ своихъ фантастическихъ писаній, весьма ясными и правильными взглядами по вопросамъ научной методики, что тоже содѣйствовало достиженію значительныхъ практическихъ результатовъ, несмотря на его натуръ-философскія фантазіи. При первомъ просмотрѣ его сочиненій вы склонны признать его фантазеромъ, совершенно неспособнымъ ясно мыслить. Но стоитъ въ нихъ вчитаться, чтобы убѣдиться, что онъ превосходилъ большинство ученыхъ своего времени въ способности подвергнуть сложное явленіе систематическому анализу, разложить его на отдѣльныя его условія и тѣмъ самымъ указать соотвѣтствующее ему научное значеніе или „объяснить“ его.

Мы сообщили уже, что Риттеръ первый, до изобрѣтенія еще вольтова столба, указалъ на связь между химическими и электрическими явленіями. Отсюда онъ, какъ натуръ-философъ, скоро сдѣлалъ тотъ выводъ, что весь химизмъ долженъ свестись къ гальванизму, и тѣмъ сталъ предтечей позднѣйшихъ электрохимическихъ те-

орій. Но если въ этой области за нимъ долженъ быть безусловно признанъ приоритетъ, то въ отношеніи фактовъ, найденныхъ при помощи вольтова столба, онъ долженъ раздѣлить этотъ приоритетъ съ нѣсколькими англійскими учеными, которые, благодаря нѣкоторымъ условіямъ внѣшняго характера (см. стр. 59), успѣли раньше его познакомиться съ этимъ капитальнымъ изобрѣтеніемъ. Первые ученые, имена которыхъ связаны съ разложеніемъ воды при помощи тока вольтовой цѣпи, были Никольсонъ и Carlisle.

Никольсонъ былъ въ то время издателемъ естественно-научнаго журнала. До этого онъ служилъ чиновникомъ въ Остъ-Индской компаніи, коммиссаромъ фабрики глиняныхъ издѣлій, начальникомъ школы въ Лондонѣ и инженеромъ при водопроводныхъ сооруженияхъ. Carlisle былъ практическимъ врачомъ и профессоромъ медицины въ Лондонѣ. Въ первомъ своемъ сообщеніи они описали цѣлый рядъ правильныхъ и важныхъ фактовъ. Само разложеніе воды не представляло собой ничего чрезвычайнаго, такъ какъ еще Кэвендишъ разлагалъ воду электричествомъ. Весьма поразительно было то, что обѣ составныя части воды выдѣлялись отдѣльно, кислородъ у одной и водородъ у другой проволоки. Вмѣстѣ съ тѣмъ наблюдалось образованіе кислоты на кислородномъ полюсѣ и щелочи—на водородномъ.

Научное объясненіе этихъ удивительныхъ фактовъ не было дано этими наблюдателями; вѣроятно, у нихъ не было для того необходимыхъ познаній, а можетъ быть, и времени. Цѣлый рядъ другихъ лондонскихъ ученыхъ присоединили сюда свои наблюденія. Такъ, Крузишанкъ нашелъ, что если взять въ качествѣ жидкости между двумя металлами вмѣсто воды растворъ нашатыря, то получаются гораздо болѣе сильныя кислоты. Онъ же наблюдалъ выдѣленіе на водородно

полюсѣ серебра, мѣди, свинца и другихъ тяжелыхъ металловъ изъ растворовъ ихъ солей. Далѣе, онъ установилъ, что дѣйствіе это можетъ быть проведено при помощи соединительной проволоки черезъ двѣ раздѣленные между собою массы воды; на концахъ соединительной проволоки развивается газъ, или они совершенно растворяются, совершенно такъ, какъ проволоки, соединенныя съ самимъ столбомъ. Построилъ онъ также столбъ новой формы, расположивъ рядъ спаянныхъ попарно пластинокъ изъ цинка и мѣди въ призматическомъ ящикѣ съ промежутками между двумя парами, наполненными жидкостью; столбъ этой формы въ послѣдствіи нашелъ большое примѣненіе. Съ другой стороны Haldane установилъ, что въ безвоздушномъ или даже только замкнутомъ пространствѣ дѣйствіе столба скоро прекращается, такъ что существенную роль въ его работѣ играетъ кислородъ воздуха. Были сдѣланы сообщенія и другими наблюдателями, но мало-важнаго интереса.

Всѣ эти факты стали вскорѣ съ величайшей ясностью указывать на то, что работа столба самымъ тѣснымъ образомъ связана съ химическими процессами, и тѣмъ оттолкнули всѣхъ отъ теоріи соприкосновенія Вольты, выдвинувъ химическую теорію. Конечно, чтобы развить правильную химическую теорію гальваническихъ явленій требовалось еще очень много работы и работы трудной, и только въ самое послѣднее время это удалось настолько, что можно было привести въ связь самые важные факты. Тѣмъ временемъ, однако, наука не переставала обогащаться множествомъ экспериментальныхъ открытій.

Въ этомъ развитіи науки врядъ ли кто нибудь считаетъ болѣе блестящія заслуги, чѣмъ Гемфри эчДэви. Онъ родился въ 1778 году въ Penzance'ѣ, въ Корнваллисѣ, въ семьѣ рѣзчика по дереву со скром-

нымъ достаткомъ. Уже въ самой ранней юности онъ приводилъ окружающихъ въ изумленіе своимъ живымъ умомъ. Латинскую школу онъ посѣщалъ весьма лѣниво и съ малымъ успѣхомъ. Въ зрѣлыхъ лѣтахъ онъ находился въ ней одно хорошее, именно то, что она оставяла ему много досуга, и потому онъ могъ слѣдовать собственнымъ своимъ склонностямъ. Въ атмосферѣ небольшого городка эти склонности заставляли его заниматься уженіемъ рыбы и собираніемъ камней. У друзей, которыхъ онъ рано приобрѣлъ, онъ одолживалъ научныя книги и, чтобы имѣть какую нибудь профессію, поступилъ на выучку къ врачу. Уже здѣсь обнаружилась его склонность къ химическимъ экспериментамъ, которую ему удалось до извѣстной степени удовлетворить, ибо въ то время всякій врачъ самъ готовилъ свои медикаменты, каковая работа исполнялась большей частью учениками. За то Дэви обнаруживалъ большую лѣность въ занятіи собственно медициной, такъ что учитель его былъ весьма недоволенъ. Съ самыми ничтожными средствами онъ производилъ всевозможные физическіе и химическіе эксперименты. Такъ, изъ подаренной ему клистирной трубки онъ приготовилъ себѣ воздушный насосъ и съ этимъ насосомъ и старыми часами произвелъ на 17-омъ году жизни экспериментъ, знаменитый еще и въ настоящее время. Онъ поставилъ себѣ задачей выяснить, есть ли теплота въ е с т в о, согласно распространенному въ то время допущенію, или родъ движенія, или что нибудь подобное. Такъ какъ для таянія льда необходима теплота, то онъ теръ другъ о друга два куска льда въ безвоздушномъ пространствѣ и установилъ, что ледъ немного растаялъ. Въ этомъ онъ увидѣлъ доказательство, что теплота не есть вещество, ибо подъ колоколъ его воздушнаго насоса никакое вещество попасть не могло.

Эти и другія работы вскорѣ доставили ему такую

извѣстность, что онъ былъ приглашенъ ассистентомъ въ „Пневматическій Институтъ“ въ Бристолѣ. Институтъ этотъ ставилъ себѣ задачей изученіе медицинскихъ свойствъ открытыхъ въ то время (1797) новыхъ газовъ, на которые возлагались большія надежды. Здѣсь онъ приобрѣлъ сильное влияние на окружающихъ. Вскорѣ онъ открылъ наркотическое дѣйствіе закиси азота, или веселящаго газа. Весьма живое описаніе дѣйствія этого вещества надѣлало много шума и быстро доставило ему извѣстность. Около этого времени онъ началъ свои работы съ только что открытымъ вольтовымъ столбомъ.

Въ 1801 году Дэви былъ приглашенъ преподавателемъ химіи въ недавно основанный „Королевскій Институтъ“, частное предпріятіе для изученія естествознанія въ Лондонѣ гдѣ онъ въ очень короткое время сталъ любимцемъ „хорошаго общества“, т. е. праздныхъ богачей. Но это положеніе лишь не надолго заглушило его богатые дарованія, и между развлеченіями всякаго рода, рядомъ съ очень добросовѣстнымъ отношеніемъ къ своимъ лекціямъ онъ приступилъ къ изслѣдованіямъ химическихъ дѣйствій вольтова столба, которая очень скоро превратили его изъ лондонской мѣстной знаменитости въ перваго ученаго изслѣдователя во всемъ мірѣ.

Первыя его работы были чрезвычайно детальны. Надо было изслѣдовать, откуда являются кислота и щелочь, которая въ большинствѣ случаевъ наблюдается у полюсовъ при гальваническомъ разложеніи воды. Цѣлымъ рядомъ все болѣе и болѣе улучшаемыхъ экспериментовъ Дэви доказалъ, что дѣло здѣсь въ примѣсяхъ солей, которая дѣйствіемъ столба разлагаются на основаніе и кислоту, собирающіяся у полюсовъ и тамъ становящіяся замѣтными, какъ бы мало ни было количество ихъ. Такъ, Дэви не могъ, напри-

мѣръ, найти сосудовъ, отъ которыхъ не отдѣлялись бы въ воду слѣды растворимыхъ составныхъ частей, и только, наконецъ, въ золотыхъ тигляхъ онъ сталъ сохранять воду довольно чистой.

Этотъ полученный имъ результатъ былъ потому важенъ, что онъ лишалъ всякой почвы цѣлый рядъ гипотезъ насчетъ источника этихъ веществъ и доказывалъ, что гальванизмъ не создаетъ никакихъ новыхъ веществъ, а только разлагаетъ существующія, доставляя ихъ къ тому или другому полюсу.

Это движеніе веществъ подъ вліяніемъ тока было содержаніемъ дальнѣйшихъ экспериментальныхъ изслѣдованій Дэви. Онъ произвелъ рядъ чрезвычайно разнообразныхъ и прекрасныхъ опытовъ, которыми установилъ, какъ общее правило, что основанія солей движутся въ одну сторону, а кислоты въ другую, такъ что въ общемъ движеніи тока одна составная часть соли направляется вправо, а другая—влѣво, безразлично, находятся ли растворы солей въ непосредственномъ соприкосновеніи съ проволоками, или отдѣлены отъ нихъ другими проводниками.

Во всѣхъ этихъ работахъ Дэви безпрестанно талкивался на химико-аналитическія свойства тока. Поэтому, онъ, между прочимъ, задался слѣдующимъ вопросомъ: нельзя ли воспользоваться токомъ для разложенія на ихъ элементы такихъ веществъ, которые до сихъ поръ, правда, не были еще разложены, но сложный составъ которыхъ предполагался на основаніи соображеній по аналогіи. Послѣ многочисленныхъ бесплодныхъ экспериментовъ Дэви, наконецъ, удалось (1806) разложить кусочекъ овлажнѣвшаго на поверхности ѣдкаго кали; появились маленькіе шарики металла, блестящаго серебристаго цвѣта, которые при нагрѣваніи становились жидкими, какъ ртуть. Уже одно это

было блестящимъ открытіемъ, но оно стало еще важнѣе въ виду поразительныхъ и совершенно неслыханныхъ свойствъ новаго металла. Плотность его была немногимъ больше плотности воды, и брошенный въ воду, онъ загорался безъ всякихъ содѣйствій со стороны и сгоралъ блестящимъ красивымъ пламенемъ. Въ то время были извѣстны только тяжелые металлы съ ихъ относительнымъ постоянствомъ въ водѣ и въ воздухѣ, и новое это вещество, калий, къ которому вскорѣ присоединился и натрій, вызвало величайшее изумленіе.

Извѣстіе объ опытахъ Дэви съ быстротой молніи распространилось по всему культурному міру, несмотря на то, что въ виду завоевательныхъ войнъ Наполеона, онъ былъ весь поглощенъ интересами политическими. Дэви получилъ уже большую премію (см. стр. 60) Парижской Академіи Наукъ за прежнія свои изслѣдованія. Послѣ этого открытія имя его получило столь почетную извѣстность, что онъ былъ единственнымъ англичаниномъ, имѣвшимъ право пріѣзжать во Францію, которая въ то время косвенно вела войну съ Англіей.

Происходило это, впрочемъ, нѣсколько позже. Сейчасъ же послѣ своего великаго открытія Дэви серьезно заболѣлъ. Несомнѣнной причиной болѣзни былъ его образъ жизни,—ревностная научная работа рядомъ съ исполненіемъ обязанностей человѣка свѣтскаго. Вскорѣ вслѣдъ за этимъ онъ женился на богатой вдовѣ и, имѣя, кромѣ того, еще очень большіе доходы отъ книгъ и лекцій, отказался отъ своей должности, чтобы имѣть возможность свободно отдаваться научной работѣ.

Въ эту вторую половину своей жизни онъ посвящалъ болѣе вниманія задачамъ практическимъ. Общеизвѣстна изобрѣтенная имъ и носящая его имя предохранительная лампа, которой предупреждался

взрывъ газовъ въ угольныхъ косяхъ. Газы эти состояли изъ смѣси рудничнаго газа съ атмосфернымъ воздухомъ, и отъ взрыва ихъ гибло очень много людей на англійскихъ рудникахъ. Плодомъ его прежнихъ занятій гальванизмомъ былъ изобрѣтенный имъ чрезвычайно остроумный методъ предохраненія мѣдной обивки кораблей отъ окисленія ея въ соленой морской водѣ. Онъ укрѣплялъ на поверхности нѣсколько кусковъ желѣза, вслѣдствіе чего образовывался токъ весьма слабой силы, который относилъ кислоту изъ разложенной поваренной соли, содержащейся въ морской водѣ, къ желѣзу, а основаніе — къ мѣди; тотъ же токъ относилъ по первому направлению кислородъ, а по второму — водородъ разложеной воды. Къ сожалѣнію, методъ этотъ не привился на практикѣ и по слѣдующей причинѣ: мѣдь, правда, не окислялась, но на нее, — именно вслѣдствіе описаннаго процесса, — осаждалось такъ много магnezіи изъ морской воды, что на ней выростали растенія, поселялись животныя, и это, конечно, сильно мѣшало движенію корабля.

Эти блестящія химическія дѣйствія столба съ величайшей ясностью доказывали тѣсную связь, существующую между электрическимъ токомъ, исходящимъ изъ столба, и химическими процессами въ введенныхъ въ электрическую цѣпь жидкихъ растворахъ. Такія же измѣненія происходятъ въ жидкостяхъ, помѣщенныхъ въ столбъ между парами пластинъ, и наступающее при этомъ окисленіе цинка было вполне правильно признано причиной движенія электричества. Для объясненія всѣхъ этихъ явленій Дэви создаетъ цѣлую электрохимическую теорію химическихъ соединений, по которой, — въ полномъ соотвѣтствіи съ основной идеей Вольта объ электричествахъ отъ прикосновенія, — атомы, сближаясь, заряжаются электричествомъ. Возрѣніе это не получило, однако, дальнѣйшаго развитія.

Одновременно съ Дэви изучалъ разлагающее дѣйствіе столба и другой ученый, именно Г. Берцелиусъ. Онъ родился въ 1779 году, и обнародованная имъ въ 1803 году и выполненная въ сотрудничествѣ съ Гизингеромъ работа, о которой идетъ у насъ рѣчь, была первой его научной работой. Какъ блестящи были открытія Дэви, такъ была скромна эта работа шведскихъ ученыхъ. Они установили, — и это не было уже въ то время очень большой новостью! — что когда въ цѣпь тока вводились водные растворы щелочныхъ и щелочно-земельныхъ металловъ, то на одномъ полюсѣ собирались кислоты, а на другомъ — основанія. Но, установивъ этотъ фактъ, Берцелиусъ затѣмъ пришелъ къ общему положенію, что всѣ соли состоятъ изъ кислотъ и основаній, и, далѣе, что и всѣ другія химическія соединенія, подобно солямъ, имѣютъ двойственный составъ. Причину разложенія веществъ дѣйствіемъ электрическаго тока Берцелиусъ усматривалъ въ положительномъ или отрицательномъ электричествахъ, которымъ одарены атомы: когда атомы соединяются, эти два вида электричества взаимно нейтрализуютъ другъ друга, въ результатъ чего, какъ въ случаѣ электрической искры, выдѣляется теплота, а порой и пламя. Но онъ самъ себя сдѣлалъ слѣдующее, вполне правильное возраженіе: вѣдь, послѣ разряженія электричества нѣтъ никакого основанія для атомовъ оставаться соединенными, ибо притяженіе протоположенныхъ электричествъ исчезаетъ же. Не будучи въ состояніи дать удовлетворительный отвѣтъ на свой вопросъ, онъ предоставилъ это дѣло времени, удержавъ свою теорію, какъ чрезвычайно удобную для описанія соотвѣствующихъ химическихъ процессовъ.

Въ теченіе всей своей долголѣтней и богатой научными работами жизни Берцелиусъ оставался вѣр-

нымъ этимъ возрѣніемъ своей юности. Сначала онъ былъ еще въ состояніи соглашаться съ измѣненіями въ нихъ, необходимость которыхъ обнаруживало время. Такъ, онъ на основаніи своей теоріи полагалъ, что хлоръ есть вещество сложное, содержащее кислородъ и нѣкоторый неизвѣстный еще элементъ, мурій. Когда же Дэви въ послѣдствіи неопровержимо доказалъ, что хлоръ есть элементъ, Берцелиусъ перемѣнилъ свой взглядъ и примкнулъ ко взгляду Дэви. Мы находимъ у Вейлера разсказъ о слѣдующемъ забавномъ эпизодѣ. Служанка его, Анна, чистила какой-то сосудъ и замѣтила, что онъ пахнетъ окисленной соляной кислотой. Добросовѣстный Берцелиусъ сейчасъ же на это возразилъ, что она не должна болѣе говорить „окисленная соляная кислота“, а слѣдуетъ говорить „хлоръ“, что такъ лучше. Въ послѣдствіи эта гибкость ума у него исчезла, и къ концу своей жизни онъ тратилъ послѣднія свои силы безцѣльно и безрезультатно для защиты теоріи электрохимическаго дуализма, которая оказалась несостоятельной.

Мы говорили уже, что этотъ великій химикъ во всю свою жизнь оставался вѣрнымъ этой электрической теоріи. Этотъ фактъ представляетъ тѣмъ болѣе интересъ, что послѣ своей юношеской работы онъ не производилъ болѣе никакихъ другихъ экспериментальныхъ изслѣдованій въ области электрохиміи. Объясняется это тѣмъ, что главной цѣлью его теоріи была химическая систематика, раціональная и наглядная классификація химическихъ соединений. Данные электрохиміи служили ему только средствомъ для нагляднаго изображенія двойственнаго порядка, въ который онъ располагалъ всѣ соединения. Простѣйшія соединения состояли, по его теоріи, изъ одного положительнаго и одного отрицательнаго атома. Но оба рода электричества нейтрализовались, по его ученію, не

сполна, а оставался всегда какой нибудь излишекъ, положительный или отрицательный. Въ слѣдствіе этого, двойственное соединеніе съ положительнымъ излишкомъ могло относиться къ двойственному соединенію съ отрицательнымъ излишкомъ, какъ два заряженныхъ противоположнымъ электричествомъ элемента, и такимъ образомъ возникали соединенія второго порядка. И здѣсь нейтрализація происходила съ образованіемъ излишка, что служило источникомъ образованія соединений третьяго, четвертаго и т. д. порядковъ.

Ясно, что при такомъ примѣненіи существенное электрохимическое содержаніе теоріи отодвигалось совсѣмъ на задній планъ. Берцелиусъ, между прочимъ, и не думалъ о доказательствахъ только что изложеннаго—разложеніемъ, на примѣръ, сложныхъ соединений дѣйствіемъ электрическаго тока. Въ виду той служебной роли, которую отводилъ своей теоріи Берцелиусъ, она сначала оставалась безъ всякаго вліянія на развитіе самой электрохиміи. Когда же въ послѣдствіи снова были выдвинуты на первый планъ вопросы этого рода, то оказалось, что единственное, что вѣрно въ этой теоріи Берцелиуса, это половинчатая поправка его относительно природы хлора, которую онъ вынужденъ былъ сдѣлать подъ вліяніемъ открытій Дэви. Все же остальное въ его теоріи, что осталось безъ измѣненія, нуждалось въ исправленіи въ томъ же направленіи. Такъ, въ случаѣ солей, образовавшихся изъ хлора и металловъ, составными частями ихъ должны были быть признаны не соляная кислота и окись металла, какъ это предполагала раньше теорія Берцелиуса, а элементы хлора и соответствующихъ металловъ. Такимъ же образомъ оказалось, что сѣрнистый натрій, на примѣръ, долженъ разсматриваться, не какъ соединеніе изъ сѣрной кислоты

и ѣдкаго натра (точнѣе—треокиси сѣры и окиси натрія), какъ полагалъ Берцелиусъ, а какъ соединеніе натрія съ комплексомъ изъ одного атома сѣры и четырехъ атомовъ кислорода—комплекса, который впослѣдствіи получилъ названіе іона сульфата. Фактъ этотъ можетъ служить новымъ доказательствомъ того, что въ наукѣ полумѣры не уместны, и что ни въ какой другой области не уместенъ болѣе самый безпощадный радикализмъ, какъ въ этой высшей и важнѣйшей дѣятельности человѣческаго духа. Если бы Берцелиусъ согласился тогда со взглядомъ Дэви, что (какъ въ случаѣ хлорныхъ соединеній металловъ) составными частями солей должны быть признаны съ одной стороны металлы, а съ другой—то, что съ ними соединено, позднѣйшія его затрудненія въ весьма значительной части, вѣроятно, не существовали бы для него. Но Берцелиусъ принадлежалъ къ типу медленныхъ и осторожныхъ изслѣдователей, двигающихся впередъ только шагъ за шагомъ. Такое отношеніе къ наукѣ есть проявленіе извѣстной добросовѣстности, и въ другихъ областяхъ химіи онъ успѣлъ сдѣлать многое, что надолго сохранить его имя въ исторіи науки. Тѣмъ поучительнѣе будетъ отыскать и выяснить источники его заблужденій.

На этомъ мы могли бы закончить изложеніе юношескаго періода электрохиміи. Расскажемъ еще только о работѣ, впервые разъяснившей тотъ поразительный фактъ, что кислородъ и водородъ (при разложеніи воды) да и вообще составныя части химическихъ соединеній, разложенныхъ электрическимъ токомъ, выдѣляются у различныхъ полюсовъ. Этотъ удивительный фактъ, замѣченный еще Никольсономъ и Carlisle, естественно далъ пищу для многихъ споровъ, и Риттеръ, — со своей слишкомъ поспѣшной манерой, — сдѣлалъ отсюда даже тотъ выводъ, что кислородъ есть нечто иное, какъ

вода плюсъ положительное электричество, а водородъ — вода плюсъ отрицательное электричество. Это воззрѣніе свое онъ даже подтвердилъ, какъ ему казалось, на опытѣ. Вскорѣ, однако, были произведены измѣренія, показавшія всю несновательность такихъ воззрѣній, и загадка оставалась неразрѣшенной.

Первое ея рѣшеніе дано было молодымъ человѣкомъ, дворяниномъ барономъ Гротгусомъ изъ Курляндіи. Ему было тогда всего 20 лѣтъ. Въ статьѣ, написанной въ Римѣ, онъ описывалъ, какъ, вслѣдствіе притягательныхъ и отталкивающихъ дѣйствій заряженныхъ электричествомъ полюсовъ, элементы воды (которые онъ вмѣстѣ съ Берцелиусомъ считалъ заряженными электричествомъ) располагаются въ рядъ попеременно смѣняющихся атомовъ водорода и атомовъ кислорода, при чемъ первые заряжены положительнымъ электричествомъ, а вторые—отрицательнымъ. Затѣмъ подъ дѣйствіемъ именно этихъ притягательныхъ силъ самые крайніе атомы, — съ одной стороны одинъ атомъ кислорода и съ другой одинъ атомъ водорода, — разряжаются и являются, какъ свободные газы. Такъ какъ теперь на положительномъ полюсѣ оказывается положительный атомъ, а на отрицательномъ — отрицательный, то они отталкиваются и соединяются съ позади ихъ стоящими атомами, заряженными противоположнымъ электричествомъ. Этимъ восстанавливается первоначальное состояніе, электрическій токъ вновь вызываетъ разряженіе и т. д.

Основная идея этого объясненія заключается въ томъ, что газы, выдѣляющіеся отдѣльно на такомъ разстояніи другъ отъ друга, на самомъ дѣлѣ принадлежатъ различнымъ частямъ разложенной жидкости, но что вслѣдствіе электрическихъ зарядовъ ея составныхъ частей эти послѣднія вновь соединяются, такъ что среднія части жидкости остаются безъ измѣненія. Этимъ

объясненіемъ дѣйствительно устанавливается довольно прочная связь съ данными опыта. Что эта связь не полна, выяснилось лишь въ послѣдствіи, а это заставило создать представленія, еще болѣе приспособленныя къ даннымъ опыта.

Мы сказали уже выше, что Гротгусъ обнародовалъ эту наиболѣе знаменитую свою работу въ самой ранней юности. Въ послѣдствіи онъ произвелъ еще нѣсколько изслѣдованій, служащихъ свидѣтельствомъ большой самостоятельности его мышленія, но столь же счастливой идеи ему найти уже не удалось.

Мы видѣли, что и другіе ученые, принимавшіе участіе въ развитіи электрохиміи въ эту ея стадію, тоже сдѣлали свои главныя работы въ ранней юности. Дэви открылъ щелочные металлы 27 лѣтъ отъ роду, Берцеліусъ 24 лѣтъ отъ роду произвелъ свои электрохимическія изслѣдованія, опредѣлившія развитие химіи въ теченіе ближайшаго полустолѣтія. Съ этимъ же явленіемъ, что великіе ученые совершаютъ важнѣйшія свои работы въ очень молодыхъ годахъ, мы неоднократно встрѣтимся еще и въ послѣдствіи. Правда, общимъ явленіемъ это признать нельзя, ибо Гальвани и Вольты сдѣлали свои важныя работы лишь въ зрѣломъ возрастѣ, когда имъ было болѣе сорока лѣтъ. Но большинство, безъ сомнѣнія, составляютъ ученые очень молодые.

Христіанъ-Іоганнъ-Дитрихъ-фонъ Гротгусъ (обыкновенно его неправильно называютъ еще Теодоромъ) родился въ Лейпцигѣ въ 1785 году. Въ Лейпцигѣ его родители находились тогда временно, проѣздомъ изъ Курляндіи. Согласно обычаю того времени, тогдашній ректоръ университета, Вейссе, другъ родителей, преподнесъ имъ студенческую матрикулу для ихъ сына. Вскорѣ послѣ этого семья вернулась домой, и отецъ умеръ. Сына воспитывали

въ имѣніи матери многочисленные учителя, которые, однако, оказали очень плохое вліяніе на развитіе весьма одареннаго и рано созрѣвшаго мальчика. Онъ сталъ самъ заниматься изученіемъ естественныхъ наукъ при помощи тѣхъ скудныхъ средствъ, которыя оказались въ его распоряженіи, и онъ не отказался отъ этого даже тогда, когда его учитель, въ своей ревности филолога, имѣлъ грубость разрушить всѣ его препараты и коллекціи. На 18-мъ году жизни онъ получилъ, наконецъ, разрѣшеніе поѣхать за границу для изученія естественныхъ наукъ. Онъ отправился сначала въ Лейпцигъ и оттуда въ Парижъ, гдѣ по особой протекціи былъ принятъ въ едва основанную тогда политехническую школу. Здѣсь онъ получилъ прекрасное образованіе. Войны того времени заставили его въ 1805 году уѣхать въ Неаполь. Здѣсь одинъ англичанинъ Томсонъ предложилъ ему при помощи принадлежавшаго ему небольшого вольтова столба заняться рѣшеніемъ той самой проблемы, рѣшеніе которой доставило Дэви его первые триумфы въ электрохиміи, — именно вопроса о мнимомъ образованіи кислотъ и основаній изъ чистой воды. Приступивъ къ выполненію опытовъ, Гротгусъ вскорѣ оставилъ эту проблему, пораженный удивительнымъ фактомъ выдѣленія составныхъ частей воды отдѣльно у различныхъ плюсовъ. Фактъ этотъ настолько поразилъ его, что онъ перенесъ центръ тяжести всей своей работы на объясненіе этого явленія. Выработанное имъ объясненіе мы и изложили выше.

Гротгусъ съ большой ревностью продолжалъ свои столь удачно начатыя изслѣдованія и работы, часто принимая вмѣстѣ съ тѣмъ всевозможныя путешествія. Во время одного изъ этихъ путешествій онъ, между Миланомъ и Туриномъ, попалъ въ руки шайки разбойниковъ. Они основательно ограбили его, уничтожили его коллекціи, да и самъ онъ едва спасъ свою жизнь.

Осенью 1807 года онъ вернулся на родину и сталъ продолжать свои изслѣдованія въ наслѣдственномъ своемъ имѣніи, Геддуцѣ, на курляндско-литовской границѣ, вдали отъ всякой культуры. Всѣ эти изслѣдованія его обнаруживаютъ человѣка съ умомъ оригинальнымъ и вмѣстѣ съ тѣмъ богатымъ знаніями. Къ сожалѣнію, работы эти нашли помѣху въ продолжительной и весьма мучительной болѣзни, сдѣлавшей его жизнь настолько несносной, что онъ добровольно положилъ ей конецъ въ 1822 году.

Здѣсь передъ нами случай, когда человѣкъ, по природѣ весьма даровитый, вслѣдствіе цѣлаго ряда неблагоприятныхъ обстоятельствъ былъ лишенъ возможности въ значительной части проявить свои дарованія. Полное отсутствіе пониманія и содѣйствія въ молодые годы не помѣшало ему очень рано проявить свои дарованія чрезвычайно оригинальнымъ образомъ, какъ только ему удалось пріобрѣсти необходимыя общія познанія. Въ такой же мѣрѣ не удалось заглушить его склонность и способность къ важной работѣ и дальнѣйшимъ многочисленнымъ помѣхамъ, съ которыми ему приходилось бороться. При всемъ томъ нельзя не сказать себѣ, что при лучшихъ условіяхъ изъ него, весьма вѣроятно, вышелъ бы ученый перваго ранга, который оставилъ бы наукѣ не одну только гениально придуманную теорію, но цѣлый рядъ превосходно сдѣланныхъ работъ. Гротгусъ, слѣдовательно, представляетъ собой примѣръ гениальнаго дарованія, настоящее развитіе и проявленіе котораго было задержано неблагоприятно сложившимися условіями развитія его.

Глава пятая.

Отъ Фарадея и Даніэля до Гитторфа и Кольрауша.

Описанныя выше событія, которыми ознаменовались бурные юношескіе годы электрохиміи, произошли всѣ въ первое десятилѣтіе девятнадцатаго вѣка. Къ концу этого десятилѣтія наступила весьма замѣтная остановка въ развитіи, и вмѣсто экспериментальныхъ золотыхъ россыпей въ ново-открытой странѣ начались безконечныя споры по поводу теоріи гальванизма.

Правда, теорія Вольты представлялась весьма удовлетворительной въ формальномъ отношеніи. Вслѣдствіе этого, она находила горячихъ защитниковъ среди людей, получившихъ преимущественно физическое образованіе и мыслившихъ, такъ сказать, физически, такъ что химическая сторона явленій была чужда имъ, но многіе другіе были ею недовольны. Причина этого недовольства даже не сознавалась ясно. Заключалась она въ допущеніи Вольты, что столбъ его есть настоящее *perpetuum mobile*. Въ такъ называемыхъ, сухихъ столбахъ видѣли настоящее *perpetuum mobile*, несмотря на то, что уже Риттеръ, который первый открылъ способъ ихъ приготовленія, вполне правильно доказывалъ, что сухой столбъ до тѣхъ поръ только дѣйствуетъ, покуда онъ не сухъ на самомъ дѣлѣ. Образцомъ этихъ столбовъ считается, какъ известно, столбъ Замбони, состоящій изъ слоевъ съ одной стороны позолоченной, а съ другой—посеребренной

бумаги, расположенныхъ въ такомъ порядкѣ, чтобы противоположенная сторона одного слоя примыкала къ посеребренной другого. Взявъ очень большое число такихъ словъ, можно получить сравнительно довольно высокія напряженія, а слѣдовательно, и довольно замѣтныя явленія притяженія и отталкиванія. Строили два столба, слои которыхъ были расположены въ противоположномъ направленіи, такъ что противоположные полюсы оказывались очень близко другъ къ другу, а между ними помѣщали маятникъ, который и приводился въ движеніе притяженіемъ и отталкиваніемъ полюсовъ. Въ научныхъ кругахъ съ величайшимъ вниманіемъ слѣдили за судьбой нѣкоторыхъ такихъ аппаратовъ, построенныхъ съ особой тщательностью. Въ газетахъ печатались въ каждомъ номерѣ бюллетени объ ихъ состояніи, и люди стали уже думать, что удалось достичь невозможнаго—построить *perpetuum mobile*. Въ это время стало извѣстно, что маятникъ отъ времени до времени останавливается. Въ концѣ концовъ онъ и остановился совсѣмъ, и невозможность построить *perpetuum mobile* снова получила экспериментальное доказательство.

Значительнымъ шагомъ впередъ въ развитіи электрохиміи отмѣчены лишь тридцатые годы XIX столѣтія, и обязаны мы имъ работамъ англійскаго ученаго М и х а и л а Фарадея. Фарадей родился въ 1791 году въ семьѣ бѣднаго, необразованнаго кузнеца въ одномъ изъ предмѣстій Лондона и съ большими затрудненіями усвоилъ основы высшаго образованія. Чтобы имѣть возможность доставать книги, которыя онъ цѣнилъ выше всего, онъ поступилъ ученикомъ въ переплетную мастерскую. Нѣкоторые знакомые, покровительствовавшіе ему, дали ему возможность слушать лекціи по физикѣ и химіи. Съ теченіемъ времени онъ сталъ самъ производить опыты въ скромныхъ размѣрахъ. Однажды какой то счастливый случай доставилъ ему нѣсколько

билетовъ на лекціи Гемфри Дэви—кстати сказать—последнія изъ его лекцій. Лекціи эти произвели на юношу очень сильное впечатлѣніе, и все, что онъ понималъ изъ нихъ, онъ тщательно записалъ, иллюстрировалъ свои записки очень чистыми рисунками и, приложивъ эти доказательства своего прилежанія и своихъ знаній, обратился непосредственно къ Дэви съ просьбой доставить ему какія нибудь научныя занятія. Ибо по религіознымъ его воззрѣніямъ (онъ былъ членомъ одной секты, стремившейся къ истинному и простому христіанству и оставался имъ во всю свою жизнь), занятіе торговлей казалось ему дѣломъ эгоистическимъ и низкимъ, а работа надъ вопросами науки—дѣломъ благороднымъ и великимъ. Необходимо отмѣтить къ чести Дэви, что онъ не только отвѣтилъ на письмо совершенно неизвѣстнаго ему ученика изъ переплетной мастерской, но даже доставилъ ему желаемое мѣсто, предварительно предостерегши его отъ науки, какъ весьма строгой богини. Онъ сдѣлалъ его своимъ помощникомъ въ Королевскомъ Институтѣ, такъ что первое время Фарадей былъ здѣсь чѣмъ то среднимъ между служителемъ и ассистентомъ.

Вскорѣ послѣ этого Фарадею пришлось спутствовать своему начальнику въ большомъ путешествіи по Франціи, Италіи, Германіи и т. д. И здѣсь онъ исполнялъ роль среднюю между камердинеромъ и секретаремъ, но имя его стало уже извѣстнымъ, благодаря нѣсколькимъ работамъ, и онъ сумѣлъ извлечь большую пользу изъ личныхъ отношеній со своимъ знаменитымъ начальникомъ. Это путешествіе оказало, безъ всякаго сомнѣнія, рѣшительное вліяніе на развитіе его ума. По возвращеніи онъ снова занялъ прежнее мѣсто въ Королевскомъ Институтѣ. Съ теченіемъ времени онъ становился, однако, все болѣе и болѣе самостоятельнымъ, пока, наконецъ, самъ не получилъ тамъ же мѣсто про-

фессора. Въ этихъ условіяхъ онъ прожилъ всю свою жизнь. Несмотря на рано пошатнувшееся, вслѣдствіе чрезмѣрной работы, здоровье, онъ не переставалъ дѣлать одно открытіе за другимъ, такъ что въ этомъ отношеніи онъ можетъ быть поставленъ въ ряду первыхъ научныхъ изслѣдователей всѣхъ временъ.

Фарадей принадлежалъ къ типу ученыхъ, работающихъ медленно и добросовѣстно. Поставивъ себѣ задачу подвергнуть экспериментальному изслѣдованію всю область электрическихъ явленій, онъ началъ съ вопроса, тождественно ли электричество, получаемое изъ различныхъ источниковъ, и въ особенности тождественны ли электричество отъ тренія и гальваническое электричество. Результатъ его работы былъ тотъ, что эти различныя электричества различаются между собой только по напряженію и количеству, а во всемъ остальномъ ничѣмъ рѣшительно не различаются. Затѣмъ было также изслѣдовано, оказываютъ ли количества электричества одно и то же дѣйствіе во всѣхъ отношеніяхъ, если они оказываютъ такое дѣйствіе въ одномъ какомъ либо отношеніи. Мѣрой этихъ дѣйствій были избраны, съ одной стороны, отклоненія магнитной иглы отъ крытаго къ тому времени гальванометра, а съ другой — количества продуктовъ химическаго разложенія, и Фарадей установилъ общее правило, что равнымъ отклоненіямъ соотвѣтствуютъ (въ равныя времена) и равныя количества продуктовъ разложенія, безразлично, каковъ бы ни былъ источникъ электричества.

Отсюда самъ собою возникъ вопросъ: какая вообще существуетъ связь между количествомъ продуктовъ разложенія, съ одной стороны, и остальными свойствами электричества — съ другой. И Фарадей открылъ первую часть названнаго его именемъ закона, — а именно, что количества разложеннаго вещества

всегда пропорціональны количествамъ прошедшаго черезъ него электричества, независимо отъ всѣхъ другихъ условій опыта. Когда же онъ ввелъ въ одну и ту же электрическую цѣпь въ послѣдовательномъ порядкѣ различныя аппараты разложенія, такъ что черезъ всѣ аппараты должно было проходить одно и то же количество электричества, то онъ нашелъ далѣе, что количества выдѣленныхъ въ одно и то же время веществъ пропорціональны ихъ химическимъ эквивалентамъ. Такъ была получена вторая часть закона Фарадея: равнымъ количествамъ электричества соотвѣтствуютъ химически эквивалентныя количества вещества. Законъ этотъ впервые описываетъ электрохимическое явленіе, выраженное въ числахъ или количественно опредѣленное.

Сдѣланное открытіе заставило Фарадея приступить къ дальнѣйшимъ, весьма подробнымъ работамъ для выясненія процесса разложенія веществъ электрохимическимъ путемъ. Эти работы привели его къ общему взгляду на такое разложеніе, принимаемому въ существенныхъ чертахъ и по настоящее время, не исключая и введенныхъ имъ обозначеній. Общія его результаты таковы.

Жидкости, которыя при разложеніи становятся проводниками электричества, называются электролитами. Далеко не всѣ жидкости — электролиты. Всего лучше проводятъ электричество водные растворы кислотъ, оснований и солей. Далѣе, многія соли проводятъ также электричество въ расплавленномъ состояніи. Напротивъ, твердыя тѣла суть плохіе проводники (Фарадей полагалъ, что они вообще не проводятъ электричества, но онъ ошибался).

Химическое разложеніе наступаетъ только тогда, когда электрическій токъ входитъ въ электролитъ или

оставляет его. Направленіемъ тока считается при этомъ, какъ всегда, то направленіе, въ которомъ положительное напряженіе падаетъ, или въ которомъ движется положительное электричество. Такія мѣста входа и выхода называются электродами, и мѣсто входа называется анодомъ, а мѣсто выхода—катодомъ. У анода скопляются кислородъ, галоиды и другія неметаллическія составныя части электролитовъ, а на катодъ—водородъ, металлы и сходныя съ ними составныя части электролитовъ.

Эти составныя части электролитовъ такъ увлекаютъ за собою токъ (или уносятся токомъ), что эквивалентнымъ количествамъ веществъ соотвѣтствуютъ равныя количества электричества. Составныя части называются іонами, и именно, катионами—тѣ, которыя собираются на катодъ, т. е. водородъ и металлы, и анионами—тѣ, которыя собираются на анодъ, т. е. галоиды или другія вещества, связанныя съ металлами въ соляхъ, а также кислородъ.

Самый же токъ Фарадей разсматривалъ, какъ ось дѣйствія силы, которая заставляетъ положительное электричество и связанные съ нимъ катионы двигаться въ одномъ направленіи, а отрицательное электричество вмѣстѣ съ анионами—въ другомъ направленіи.

Не трудно замѣтить, что во всѣхъ этихъ основныхъ положеніяхъ дѣло идетъ больше объ опредѣленіяхъ и абстрактныхъ построеніяхъ, чѣмъ о выраженіи новыхъ фактовъ; тѣмъ не менѣе, они оказали очень большое содѣйствіе развитію самого дѣла. Отсюда ясно, что рядомъ съ открытіемъ неизвѣстныхъ еще соотношеній есть еще и другая форма научной работы, по меньшей мѣрѣ, не менѣе важная и плодотворная, хотя она въ большинствѣ случаевъ и доставляетъ автору ея

несравненно меньше признанія и славы, чѣмъ первая. Въ большинствѣ случаевъ та и другая форма работы переплетаются между собою, и вторая въ извѣстномъ смыслѣ составляетъ даже часть первой; другая часть научной работы (именно та, которая не можетъ быть совершена во время открытія новыхъ соотношеній) выполняется впоследствии. Эта другая необходимая работа и заключается въ выясненіи понятій новой области. Когда открывается новая область, она совершенно чужда человѣчеству, и чтобы она стала ему ближе, необходимо указать ей то или иное мѣсто въ томъ, что существовало до нея. Отсюда возникаютъ или гипотетическія построенія, которыя впоследствии большей частью подвергаются измѣненіямъ либо совсѣмъ отвергаются, или же болѣе ясныя понятія, въ которыхъ и выражается въ соотвѣтственной формѣ существенное содержаніе новыхъ отношеній. Работа Фарадея, работа выясненія явленій электролиза, и есть работа второго рода. Она даетъ намъ возможность ориентироваться въ этой новой загадочной области, и давая точную формулировку тому, что извѣстно, она вмѣстѣ съ тѣмъ указываетъ и на то, что ждетъ еще разработки.

Въ самомъ дѣлѣ, вполне естественно, что изслѣдованія Фарадея не могли рѣшить исчерпывающимъ образомъ всѣ существующія здѣсь проблемы. Зато была подготовлена почва для будущихъ изслѣдованій, которыя улучшили и усовершенствовали эти взгляды Фарадея, не выходя за тѣ предѣлы, въ какіе онъ включилъ явленія электролиза.

Первый вопросъ, который не былъ рѣшенъ исчерпывающимъ образомъ Фарадеемъ, относился къ точности его электролитическаго закона. Согласно этому закону, электропроводность металловъ совершенно отличается отъ электролитической проводимости, ибо первая

происходить безъ перемѣщенія вѣсомыхъ веществъ, тогда какъ вторая этому перемѣщенію прямо пропорціональна и, слѣдовательно, безъ него и вообще невозможна. Такого рода безусловное противорѣчіе вообще трудно найти въ явленіяхъ природы, и во всякомъ случаѣ оно представляетъ собою явленіе необыкновенное. Вслѣдствіе этого, Фарадей и принималъ, что рядомъ съ электрической можетъ существовать и металлическая проводимость. Но послѣдующія изслѣдованія съ полной достовѣрностью доказали, что Фарадей былъ, такъ сказать, несправедливъ къ собственному своему закону, оцѣнивая его слишкомъ низко. Оказалось, что именно его законъ принадлежитъ къ тѣмъ, весьма немногимъ законамъ, отклоненія отъ которыхъ до сихъ поръ не были доказаны съ полной достовѣрностью.

Второй пунктъ касается химическаго состава іоновъ. Вспомнимъ противорѣчіе, въ которомъ оставилъ Берцелиусъ теорію солей. Правда, что касается галоидовъ, то, послѣ изслѣдованій Дэви, онъ призналъ элементарную природу ихъ и въ согласіи съ этимъ формулировалъ составъ солей изъ металла и галоидовъ, такъ какъ другое объясненіе стало уже невозможнымъ. Въ другихъ же соляхъ, содержащихъ кислородъ, гдѣ онъ одну часть кислорода могъ, поэтому, приписать металлу, представляя себѣ ихъ связанными въ окись, онъ считалъ составными частями ихъ эту окись и ангидридъ кислотъ. Фарадей принялъ эти взгляды и тѣмъ самымъ оказался въ противорѣчій съ собственнымъ своимъ закономъ, чего онъ, правда, не замѣтилъ. Ибо при электролизѣ такихъ солей изъ щелочной группы выдѣлялись одинъ эквивалентъ щелочи и, кромѣ того, одинъ эквивалентъ водорода на катодѣ и одинъ эквивалентъ кислоты и одинъ эквивалентъ кислорода—на анодѣ. Какъ же могло случиться, что

токомъ здѣсь были перенесены не одинъ только эквивалентъ, какъ всегда, а два эквивалента?

Удовлетворительный отвѣтъ на эти вопросы далъ Джонъ Фредерикъ Даніэль, внесшій вмѣстѣ съ тѣмъ необходимыя поправки въ не совсѣмъ послѣдовательные взгляды Фарадея на іоны. Дѣло въ томъ, что въ соляхъ кислородныхъ кислотъ Фарадей разсматривалъ, какъ іоны, кислоту и основаніе, а въ амміачныхъ соляхъ—даже амміакъ. Даніэль же показалъ, что для того, чтобы дать фактамъ вполне связанное и послѣдовательное объясненіе, необходимо всецѣло стать на точку зрѣнія Дэви (правильность которой за это время была доказана и въ чистой химіи Либихомъ) и въ соляхъ кислородныхъ кислотъ тоже разсматривать металлъ, какъ одинъ іонъ, а содержащую кислородъ кислотную группу—какъ второй. Такъ, въ сѣрно-кислой мѣди $CuSO_4$ необходимо мѣдь Cu разсматривать, какъ катионъ, а группу SO_4 какъ анионъ. Последнее онъ предложилъ назвать іонъ сульфата, каковое названіе послѣ него сократилось въ іонъ сульфата. Когда этотъ іонъ сульфата разряжается у анода, то онъ дальше существовать не можетъ, ибо нѣтъ нейтральнаго соединенія этого состава, между тѣмъ какъ нейтральные или свободные галоиды могутъ существовать. Онъ дѣйствуетъ, поэтому, на воду и разлагается вмѣстѣ съ ней, согласно уравненію $H_2O + SO_4 = H_2SO_4 + O$, т. е. образуется свободная сѣрная кислота и кислородный газъ. Но это происходитъ только тогда, когда анодъ сдѣланъ изъ платины или другого проводника, не поддающагося химическому воздѣйствію. Если же онъ состоитъ изъ мѣди, на примѣръ, то іонъ сульфата соединяется непосредственно съ мѣдью въ сульфатъ мѣди $CuSO_4$, какъ это доказываетъ и опытъ. Если анодъ—изъ цинка, то образуется сульфатъ цинка $ZnSO_4$.

Какъ же обстоитъ дѣло въ случаѣ щелочныхъ солей

и солей щелочно-земельныхъ металловъ, у которыхъ вмѣсто металла на катодѣ появляется рядомъ съ водородомъ свободное основаніе? Совершенно такъ же. Возьмемъ электролизъ іодистаго калия. Ионы соли KI суть, конечно, K и I , и послѣдній появляется, какъ этого требуетъ допущеніе, у анода, гдѣ онъ свободно выдѣляется, если не можетъ соединиться съ нимъ. Калий же можетъ, правда, существовать самъ по себѣ, но не въ присутствіи воды, въ которой ему въ данномъ случаѣ приходится выдѣляться. Ибо калий, придя въ соприкосновеніе съ водой, мгновенно ее разлагаетъ. Именно это самое происходитъ и при электролизѣ (или, что въ данномъ случаѣ одно и то же, дѣло вовсе не доходитъ до выдѣленія калия), и образуются продукты воздѣйствія калия на воду—именно ѣдкое кали и водородъ, согласно уравненію $K + H_2O = KOH + H$, что опять таки вполне совпадаетъ съ фактами наблюденія. Очевидно, слѣдовательно, что кислородъ и водородъ, образующіеся, помимо продуктовъ разложенія солей, при такихъ электролизахъ, представляютъ собой не непосредственный первичный продуктъ электролиза, а вторичный его продуктъ, образующійся воздѣйствіемъ первичнаго продукта на воду раствора.

При такомъ объясненіи все приходитъ въ полную гармонію, и не трудно замѣтить, что шероховатости прежняго объясненія произошли потому, что не былъ достаточно радикально изгнанъ изъ теоріи элементъ, оказавшійся съ ней въ противорѣчіи.

Этой важной работой далеко не ограничивается вкладъ Даниэля въ науку электрохиміи. Намъ придется еще встрѣтиться съ нимъ въ другомъ мѣстѣ, когда у насъ будетъ рѣчь о конструкціи постоянныхъ столбовъ или элементовъ: элементъ Даниэля общеизвѣстенъ и употребляется и по сей день. Будетъ, поэтому, вполне уместно

сказать здѣсь нѣсколько словъ и о личности его. Онъ родился въ 1790 году въ Лондонѣ, получилъ хорошее образованіе и сначала избралъ карьеру техника, поступивъ на сахарный заводъ. Уже здѣсь онъ отличился, введя множество практическихъ улучшеній въ производство. Но стремленіе къ научной дѣятельности заставило его оставить это занятіе. Уже въ 1813 году, когда ему было, слѣдовательно, не болѣе 23 лѣтъ, онъ былъ членомъ Англійской Академіи Наукъ, Королевскаго Общества. Работы его были весьма многообразны; такъ, и въ метеорологіи сохранилось его имя: мы тамъ находимъ гигрометръ Даниэля. Упомянутыя здѣсь работы онъ произвелъ въ 1839 году, въ связи съ другими работами, о которыхъ у насъ рѣчь будетъ впереди. Въ 1831 году онъ сталъ профессоромъ въ Королевскомъ колледжѣ и внезапно умеръ въ 1845 году, отправляясь послѣ лекціи на засѣданіе Королевскаго Общества.

Во время производства этихъ работъ своихъ Даниэль наткнулся на другое явленіе, которому онъ не могъ дать удовлетворительное объясненіе. Дѣло въ томъ, что во время электролиза концентрація растворенной соли тоже измѣнялась на электродахъ такъ, какъ это заранѣе предвидѣть нельзя было. Если, напримѣръ, электризуется растворъ серно-кислой мѣди между электродами изъ мѣди, то на анодѣ образуется снова столько же соли, сколько разложилось подъ дѣйствіемъ электрическаго тока на катодѣ съ выдѣленіемъ металла мѣди. Съ перваго взгляда слѣдовало бы ожидать, что на анодѣ, гдѣ снова образуется соль, долженъ оказаться въ растворѣ избытокъ въ цѣлый эквивалентъ, а на катодѣ долженъ исчезнуть одинъ эквивалентъ, и растворъ на столько же долженъ стать бѣднѣе. Опытъ же показываетъ, что на самомъ дѣлѣ оно не такъ: правда, концентрація измѣняется въ томъ направленіи, которое предвидѣлось, но измѣненіе меньше, чѣмъ

ожидалось, и оно зависит от природы участвующих въ процессѣ іоновъ.

Само явленіе представляется маловажнымъ и могло показаться, что не стоитъ и труда заниматься изслѣдованіемъ столь маловажной вещи. Но Даніэль думалъ иначе, и если ему самому этого вопроса рѣшить не удалось, то будущее зато показало, что здѣсь скрывается весьма важное разъясненіе электролитическихъ процессовъ, т. е., что интересъ Даніэля имѣлъ полное основаніе.

Изслѣдователь, подвинувшій далѣе изученіе явленій электролиза, былъ Вильгельмъ Гитторфъ, живущій и по сию пору еще среди насъ старый ветеранъ электрохиміи. Онъ родился въ 1824 году въ Боннѣ, учился въ Мюнстерѣ, гдѣ продолжалъ и академическую свою карьеру вплоть до степени ординарнаго профессора; въ 1897 году онъ ушелъ на покой. Работы, о которыхъ у насъ здѣсь будетъ рѣчь, онъ производилъ въ началѣ 50-годовъ, когда ему не было еще и 30 лѣтъ.

Въ разсужденіяхъ своихъ онъ примкнулъ непосредственно къ Даніэлю. Къ концу своихъ изслѣдованій этотъ послѣдній былъ уже очень близокъ къ вѣрной мысли, но ему только не удалось развить ее въ полной мѣрѣ. Здѣсь передъ нами новый примѣръ, какъ трудно понять что-нибудь новое во всей его простотѣ и остеречься отъ безсознательнаго введенія допущеній, въ которыхъ видишь „нѣчто само собой понятное“ только потому, что въ голову не приходитъ пораздумать объ этомъ.

Какимъ образомъ осуществляется распространеніе электричества черезъ посредство іоновъ электролитовъ? Со времени Фарадея всѣ сходились на томъ, что это происходитъ потому, что іоны перемѣщаютъ равныя количества положительнаго и отрицательнаго электричества.

Для этой цѣли катионы должны двигаться къ катоду въ направленіи положительнаго тока, а анионы къ аноду, и скорость движенія должна быть тѣмъ больше, чѣмъ больше разность потенциала. При данныхъ условіяхъ тока оба рода іоновъ движутся навстрѣчу другъ другу совершенно такъ, какъ представлялъ себѣ Гротгустъ (см. стр. 88) и катионъ—естественно—проходитъ одну половину пути, а анионъ—другую. Вотъ до этого пункта дошелъ Даніэль, и необдуманный выводъ, который онъ здѣсь сдѣлалъ, вполне характеризуется словомъ „естественно“. Если, однако, присмотрѣться къ этому пункту повнимательнѣе, то нетрудно замѣтить, что это далеко не „естественно“: если противоположные іоны и получаютъ равныя „толчки“, то нѣтъ, вѣдь, ни малѣйшаго основанія думать, будто имъ нужно преодолевать и равныя сопротивленія, ибо растворъ, въ которомъ они движутся, правда, одинъ и тотъ же, но не одни и тѣ же собственныя ихъ свойства. Во всякомъ случаѣ нужно было еще доказать, что различнымъ іонамъ приходится при равномъ движеніи преодолевать равныя сопротивленія. Противъ же этого говоритъ весьма различное электрическое сопротивленіе, которое обнаруживаютъ различные электролиты. Такимъ образомъ невозможно подойти къ явленію съ допущеніемъ, что сопротивленія равны, а необходимо здѣсь задаться вопросомъ, каковы сопротивленія и обратно имъ пропорціональныя скорости движенія. А объ этомъ намъ даютъ отчетъ измѣненія концентраціи электродовъ.

Таковы въ краткихъ чертахъ разсужденія Гитторфа. Они были столь просты и естественны, что при первомъ обнародованіи ихъ никто не хотѣлъ съ ними согласиться. Болѣе того, даже послѣ того, какъ онъ въ цѣломъ рядѣ превосходныхъ изслѣдованій, сопровождаемыхъ измѣреніями, доказалъ правильность

своихъ идей, ему все же приходилось защищать ихъ отъ нападокъ людей, пользовавшихся почетной извѣстностью въ наукѣ. Своими возраженіями эти люди, тѣмъ не менѣе, доказывали только то, что они даже не поняли хода мысли Гитторфа. Работы Гитторфа удостоились заслуженнаго признанія,—къ счастью, еще при жизни его,—только послѣ того, какъ правильность его идей нашла подтвержденіе совершенно другимъ путемъ.

Попробуемъ теперь развить его мысль вполне наглядно. Представимъ себѣ призматическій электролитъ, вдоль котораго дѣйствуетъ разлагающая сила; іоны, которые выдѣляются на обоихъ концахъ его, допустимъ, удалены. Обозначимъ катионъ буквой k и аніонъ буквой a ; пусть эти буквы обозначаютъ вмѣстѣ съ тѣмъ эквивалентныя количества, доставляемыя къ электродамъ единицей пропущеннаго количества электричества. Послѣ электролиза количество соли, на которое растворъ станетъ бѣднѣе, будетъ равно $k + a$. Спрашивается, какъ распредѣлится эта потеря на обоихъ электродахъ?

Это зависитъ, очевидно, отъ того, какую часть пути пройдетъ каждый іонъ. Если бы количество k совершенно не двигалось, то весь токъ пришлось бы приписать тому, что количество a перемѣщается отъ катода къ аноду, гдѣ оно и выдѣляется. Въ результатѣ растворъ потерялъ бы на катодѣ, во-первыхъ, количество a , которое передвинулось бы къ аноду, и во-вторыхъ, эквивалентное количество k , которое и выдѣлилось. Слѣдовательно, растворъ у катода сталъ бы бѣднѣе на все количество разложеной соли.

Допустимъ теперь, наоборотъ, что движется только катионъ, а аніонъ остается въ покоѣ. Въ такомъ случаѣ растворъ, наоборотъ, сталъ бы бѣднѣе у анода на

цѣлый эквивалентъ и у катода остался бы безъ измѣненія. Если обратить вниманіе на то, что растворъ бѣднѣе только у анода, а у катода остается безъ измѣненія, то отсюда слѣдуетъ заключить, что все перемѣщеніе совершается катиономъ.

Но ни тотъ, ни другой изъ разсмотрѣнныхъ нами двухъ случаевъ въ дѣйствительности не бываетъ, а растворъ становится бѣднѣе у обоихъ электродовъ, но въ различной пропорціи. Отсюда слѣдуетъ сдѣлать тотъ выводъ, что потеря у анода относится къ потери у катода такъ, какъ скорость катиона относится къ скорости аніона.

Очевидно, что этимъ путемъ можно получить только относительныя скорости. Но если подвергнуть изслѣдованію соли одного опредѣленнаго аніона, а съ различными катионами k' , k'' , k''' и т. д., то изъ полученныхъ пропорцій можно вычислить относительныя скорости различныхъ катионовъ, какъ и различныхъ аніоновъ. Если теперь принять скорость одного какого-либо іона равной единицѣ, то не трудно получить этимъ путемъ числа для всѣхъ другихъ скоростей.

Эту обширную программу Гитторфъ и выполнилъ превосходнымъ образомъ, несмотря на весьма ограниченныя вспомогательныя средства, которыя были въ его распоряженіи. Онъ построилъ множество необходимыхъ для этого аппаратовъ и настолько превосходно выработалъ технику экспериментовъ, что его измѣренія не могли быть превзойдены до самаго послѣдняго времени. Онъ принадлежалъ къ типу великихъ изслѣдователей, работающихъ медленно и добросовѣстно, и потому полученныя имъ числа, почти всѣ безъ исключенія, остались прочнымъ достояніемъ все развивающейся науки.

Такъ былъ сдѣланъ дальнѣйшій шагъ впередъ въ

выясненіи того представленія, которое мы можемъ составить себѣ объ удивительномъ процессѣ электролиза, не расходясь съ фактами опыта. При поверхностномъ взглядѣ могла бы явиться мысль, что теперь все уже ясно. Но самъ Гитторфъ показалъ, что въ наукѣ обстоитъ дѣло такъ, какъ это было съ Геркулесомъ, когда онъ сражался съ гидрой: стоитъ ей отрѣзать одну голову, какъ вырастаютъ десять новыхъ. Такъ и здѣсь вскорѣ возникли новые вопросы, которые Гитторфъ въ свое время оставилъ открытыми, и рѣшеніе которыхъ удалось лишь къ концу XIX столѣтія. Изложеніе ихъ завело бы насъ слишкомъ далеко и слишкомъ близко къ новѣйшему времени, вслѣдствіе чего мы займемся этимъ попозже, тѣмъ болѣе, что намъ осталось еще рассказать, какъ были подтверждены и приумножены изслѣдованія, произведенныя Гитторфомъ.

Мы указывали уже выше, что о различныхъ скоростяхъ, съ которыми, при прочихъ равныхъ условіяхъ, движутся различные іоны, можно судить по различнымъ количествамъ электричества, перемѣщаемымъ въ равное время. Это различіе количествъ электричества называется различной электропроводностью соотвѣтственнаго проводника, такъ что электропроводность тѣмъ больше, чѣмъ больше скорость перемѣщенія іоновъ, при прочихъ, конечно, равныхъ условіяхъ.

Но измѣреніе электропроводности электролитовъ наталкивалось на весьма большія затрудненія. Электропроводность проволокъ или другихъ металлических проводниковъ не трудно измѣрить по извѣстнымъ методамъ, ибо эти проволоки только и могутъ противопоставить току свою электропроводность или свое сопротивленіе (т. е. величину, обратную электропроводности). Но въ случаѣ электролитовъ вещества, которыя выдѣляются у электродовъ, вызываютъ измѣненія въ существующемъ напряженіи, съ чѣмъ мы познакомимся ниже, какъ съ явле-

ніями поляризаціи. Вслѣдствіе этого условія измѣреній настолько измѣняются, что точныя числа получить уже невозможно, и наше знакомство съ условіями электропроводности электролитовъ оставалось вплоть до 60-хъ годовъ прошлаго вѣка довольно ограниченнымъ.

Изъ методовъ, придуманныхъ для преодоленія этой трудности, самое большое значеніе получилъ методъ Фридриха Кольрауша. Въ основѣ его лежитъ тотъ искусственный приѣмъ, что вмѣсто постоянного берется перемѣнный токъ, т. е. такой, въ которомъ очень быстро мѣняются равныя количества электричества, но съ противоположными направленіями. Такие токи можно получить обыкновеннымъ индукционнымъ аппаратомъ. Такой токъ не вызываетъ въ электролитахъ никакой поляризаціи, ибо вещества, выдѣляемыя въ одинъ моментъ, въ слѣдующій же моментъ, съ перемѣной направленія тока, снова поглощаются, такъ что въ результатъ никакого разложенія электролита нѣтъ. Такимъ образомъ, можно при помощи перемѣннаго тока измѣрять электричество электролита такъ, какъ оно измѣряется у обыкновеннаго металлическаго проводника, а въ телефонѣ мы имѣемъ инструментъ, весьма чувствительно реагирующий на перемѣнные токи особымъ шумомъ. При помощи, такъ называемаго, Уитстонова мостика, опытъ устраивается такъ, что черезъ телефонъ токъ не проходитъ, когда электропроводность электролитическаго проводника равна электропроводности другого металлическаго проводника, которая можетъ быть измѣнена по произволу и каждый разъ измѣрена. Измѣняютъ эту электропроводность до тѣхъ поръ, покуда шумъ въ телефонѣ не прекращается совсѣмъ, и тогда электропроводность металлическаго проводника (которая легко можетъ быть измѣрена) показываетъ намъ искомую электропроводность электролита.

Этимъ путемъ Кольраушъ изслѣдовалъ условія

электропроводности многихъ растворовъ различныхъ солей и установилъ общія ихъ условія. Чтобы получить сравнимыя величины, необходимо, конечно, брать эквивалентныя количества различныхъ веществъ между равно удаленными электродами. Если разстояніе между электродами равно 1 см. и взяты эквивалентныя количества различныхъ соляныхъ растворовъ, то электропроводность такого аппарата есть эквивалентная электропроводность изслѣдуемой соли. И вотъ для этой эквивалентной электропроводности (при весьма слабыхъ растворахъ) Кольраушъ нашелъ законъ, по которому величина ея можетъ быть выражена въ видѣ суммы двухъ слагаемыхъ $k + a$, изъ которыхъ первое зависитъ только отъ катиона, а второе — только отъ аниона. Величины эти совершенно не зависятъ отъ характера соединенія, т. е. отъ того, съ какимъ катиономъ данный анионъ а соединенъ въ соль. Онъ всегда имѣетъ собственную свою электропроводность, т. е., съ точки зрѣнія Гитторфа, собственную свою скорость движенія. То же самое слѣдуетъ сказать о катионахъ, и ихъ скорость движенія совершенно не зависитъ отъ скорости движенія аниона.

Для опредѣленія относительныхъ скоростей перемѣщенія у насъ есть два независимыхъ пути. Электропроводности Кольрауша дадутъ всякій разъ суммы $a + k$ двухъ скоростей перемѣщенія, а пропорціи Гитторфа дадутъ отношеніе $a : k$ двухъ скоростей перемѣщенія; комбинаціей двухъ такихъ измѣреній можно вычислить отдѣльно a и k . Всѣ измѣренія, произведенныя въ обоихъ отношеніяхъ надъ самыми различными соединеніями солей извѣстнаго числа катионовъ и анионовъ, на самомъ дѣлѣ удовлетворяютъ этимъ двумъ условіямъ, такъ что для cadaго іона остается принять одну только собственную его скорость перемѣщенія. На этомъ основаніи Кольраушъ счелъ

себя въ правѣ обобщить эти факты въ законъ независимаго перемѣщенія іоновъ; согласно этому закону, каждый іонъ, какъ составная часть соли, движется со скоростью, совершенно независимой отъ скорости другого іона, входящаго въ составъ соли.

Въ этомъ результатѣ, полученномъ Кольраушемъ, удивительна прежде всего его простота. Какъ хлоръ можетъ двигаться съ одинаковой скоростью, безразлично, связанъ ли онъ съ сильнымъ калиемъ, или со слабымъ аммоніемъ? Почему для натрія безразлично, подвергается ли онъ дѣйствію тока, какъ іодистая соль, которая уже на воздухѣ окрашивается въ желтый цвѣтъ, потому что выдѣляется іодъ, или какъ соль фтора, для разложенія которой необходимы совсѣмъ особыя средства? Таковы новыя головы, выросшія у гидры электролитической проблемы, какъ только стало казаться, что законъ независимаго перемѣщенія іоновъ вводитъ повсюду полный порядокъ.

Найденъ былъ отвѣтъ и на эти вопросы, но онъ принадлежитъ уже къ новѣйшей исторіи электрохиміи и потому будетъ изложенъ ниже.

Глава шестая.

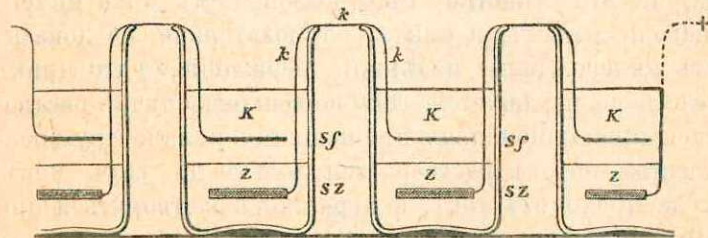
Электродвижуція силы.

Мы рассказывали уже выше, на какихъ наблюденіяхъ построилъ свою теорію прикосновенія Вольта, и что въ противовѣсъ этой теоріи была создана химическая теорія гальваническихъ явленій, которая сначала была, конечно, слишкомъ неопредѣленной и неясной, чтобы она могла успѣшно бороться съ теоріей прикосновенія, съ формальной стороны совершенно законченной. Такъ, исторія электрохиміи въ теченіе долгаго времени представляетъ намъ арену борьбы, въ которой человѣкъ, очевидно правый, не можетъ побѣдить только потому, что существенныя основы его правоты ему самому недостаточно ясны, вслѣдствіе чего онъ и другимъ доказать ее не можетъ.

Правда, отъ взгляда Риттера, не оставлявшаго ничего безъ провѣрки, не укрылось, что для того, чтобы въ результатѣ химическаго процесса получилась электродвижущая сила, процессъ этотъ долженъ быть поставленъ въ вполнѣ опредѣленные условія. Уже отдѣльное выдѣленіе составныхъ частей при электролизѣ, какъ кислорода и водорода при электролизѣ воды, — явленіе, въ то время еще совершенно необъясненное, — могло указать на то, что для того, чтобы химическій процессъ вызвалъ движеніе электричества, необходима подобная же особенность — скажемъ непосредственно: раздѣленіе химической реакціи. Въ согласіи съ этимъ Риттеръ выставилъ слѣдующее рѣши-

тельное требованіе: чтобы химическая цѣпь дала электродвижущую силу, необходимо, чтобы химическій процессъ въ ней былъ достигнутъ только самимъ замыканіемъ тока. Не будучи въ состояніи сказать, какъ исполнить это требованіе, онъ указалъ все же на самый важный пунктъ, а именно, что вовсе не всякій химическій процессъ, происходящій между веществами цѣпи, вызываетъ электродвижущую силу, а онъ навѣрное ее не вызоветъ, если не удовлетворяетъ требованію Риттера.

Но слова Риттера не оказали вовсе никакого дѣйствія. Какъ противники, такъ и сторонники химической теоріи безмолвно принимали, что всякій химическій процессъ долженъ вызвать въ цѣпи свою электродвижущую силу. А такъ какъ нетрудно было доказать, что въ дѣйствительности этого нѣтъ, то противникамъ химической теоріи было нетрудно доказать ея мнимую неправильность. Но, къ удивленію, никогда не удавалось нанести ей этимъ возраженіемъ смертельный ударъ, сколько разъ ее ни опровергали этимъ путемъ, въ ней всегда оказывалось достаточно жизненныхъ силъ, чтобы привлекать къ себѣ все новыхъ и новыхъ сторонниковъ.



Фиг. 4.

Въ качествѣ одного изъ многихъ примѣровъ опишемъ опытъ, который заставилъ Берцелиуса, пер-

воначально сторонника, конечно, химической теории, обратиться къ теории прикосновенія, послѣ того, какъ онъ воспользовался рядомъ напряженій Вольта въ качествѣ основы для своей обширной химической систематики элементовъ. На фиг. 4 изображенъ рядъ сосудовъ, наполненныхъ слѣдующимъ образомъ: нижній слой жидкости, обозначенный буквами *SZ*, состоитъ изъ концентрированнаго раствора сѣрнокислаго цинка, верхній слой жидкости *SF* есть слабый растворъ азотной кислоты, который плаваетъ надъ нижнимъ, болѣе густымъ слоемъ, не смѣшиваясь съ нимъ. Въ первомъ растворѣ находится цинковая пластинка *Z*, а во второмъ—мѣдная пластинка *K*. Цинковыя пластинки „совсѣмъ не“ измѣняются, а мѣдныя пластинки сильно измѣняются подѣ дѣйствіемъ азотной кислоты. Тѣмъ не менѣе, токъ сохраняетъ ту же силу или даже бываетъ еще сильнѣе и сохраняетъ то же направление, какъ будто весь аппаратъ наполненъ только слабой сѣрной кислотой, которая дѣйствуетъ на цинкъ, но не на мѣдь.

Если исходить изъ положенія Риттера, то опровергнуть выводы изъ этого опыта совсѣмъ не трудно: такъ какъ азотная кислота дѣйствуетъ на мѣдь и безъ тока, то это дѣйствіе съ образованіемъ тока ничего общаго не имѣетъ, и опытъ, слѣдовательно, не доказываетъ ничего. Далѣе, невѣрно утвержденіе, будто цинкъ совсѣмъ не измѣняется. Онъ во всякомъ случаѣ растворяется пропорціонально прошедшему количеству электричества, но онъ растворяется только до тѣхъ поръ, покуда проходитъ токъ, и перестаетъ растворяться при размыканіи тока. Если бы Берцелиусъ взялъ въ своемъ опытѣ вмѣсто азотной кислоты растворъ мѣдной соли, онъ получилъ бы довольно долговѣчный электромоторный аппаратъ, въ которомъ при размыканіи тока прекращался бы всякій химическій процессъ.

Здѣсь, слѣдовательно, требованіе Риттера получило бы идеальное удовлетвореніе. Такой аппаратъ и былъ придуманъ впоследствии (Даніэлемъ) и сыгралъ немаловажную роль въ дѣлѣ утвержденія химической теории.

Несмотря на формальную законченность теории Вольта, она не переставала вызывать противъ себя все новыхъ и новыхъ противниковъ, главнымъ образомъ, вслѣдствіе лежащаго въ ея основѣ допущенія, что столбъ есть *perpetuum mobile*. Что *perpetuum mobile* есть вещь, невозможная съ точки зрѣнія механической, было уже извѣстно и изъ опыта, а затѣмъ и какъ слѣдствіе основныхъ положеній рациональной механики. Дѣло дошло даже до того, что въ 1775 году Парижская Академія Наукъ постановила не принимать болѣе для разсмотрѣнія никакихъ сочиненій съ рѣшеніемъ этой проблемы. Этимъ, конечно, не былъ еще рѣшенъ вопросъ о томъ, нельзя ли все же найти другой путь для построенія *perpetuum mobile*, внѣ механики, и Вольта считалъ немаловажной своей заслугой открытіе такого пути. Но именно это время было временемъ расцвѣта механической теории всѣхъ физическихъ явленій, по которой все въ мірѣ слѣдуетъ сводить къ притяженію, движенію и удару атомовъ. Изъ теории же этой съ необходимостью вытекаетъ, что *perpetuum mobile*—вещь вообще невозможная, ибо всѣ явленія сводятся къ явленіямъ механическимъ, а механическое *perpetuum mobile* — вещь невозможная.

Правда, въ то время этотъ выводъ не дѣлался еще со всей необходимой опредѣленностью. При всемъ томъ предчувствіе закона сохранения энергіи (этой положительной формы идеи невозможности *perpetuum mobile*) такъ сильно давало уже знать о себѣ, помимо сознанія самихъ ученыхъ, что трудно было успокоиться на объясненіи, которое находилось въ полномъ противорѣчій съ

этимъ закономъ. Это обстоятельство играло здѣсь столь важную роль, что К. Пфафъ въ Килѣ, самый ревностный сторонникъ ортодоксальной теоріи Вольты въ Германіи, наоборотъ, ради этой теоріи объявлялъ невѣрнымъ законъ сохранения энергіи. По какому-то капризу исторіи, именно Пфафъ напечаталъ критику той основной работы Роберта Майера, въ которой въ первый разъ принципъ сохранения энергіи былъ изложенъ со всей научной точностью и опредѣленностью. Въ своей критикѣ Пфафъ выдвигаетъ противъ воззрѣній Майера, — ставшихъ съ тѣхъ поръ основой всей науки, не только одной физической, — именно тотъ аргументъ, что всякая истинная сила по самому существу своему неистощима. Изъ всѣхъ его разсужденій, ясно видно, что весь складъ его научнаго мышленія опредѣляется его воззрѣніями на значеніе вольтова столба.

До тѣхъ поръ, пока наступилъ и сталъ общеизвѣстнымъ этотъ великій поворотъ въ научномъ мышленіи, ни друзья, ни противники теоріи Вольты не могли привести рѣшительные доводы ни за, ни противъ нея, такъ что борьба между обоими лагерями оставалась безрезультатной. Одинъ только важный шагъ впередъ въ пользу химической теоріи былъ сдѣланъ Фарадеемъ. Законъ его выражаетъ, что не можетъ быть въ электролитѣ тока, если у электродовъ не происходитъ соотвѣтствующій химическій процессъ. Естественно, что тотъ же законъ долженъ быть правиленъ и внутри цѣпи, и, слѣдовательно, не можетъ вообще работать гальваническая цѣпь безъ пропорціональнаго химическаго процесса. Этимъ, во всякомъ случаѣ, нанесенъ смертельный ударъ основному воззрѣнію теоріи Вольты, что жидкости играютъ роль лишь индифферентныхъ проводниковъ, хотя вопросъ о причинѣ образованія тока здѣсь еще не затронутъ.

Но и въ этомъ защитники теоріи Вольты инстинктивно, — и вполне правильно, — усмотрѣли опасность для нея. Такъ, въ особенности Берцелиусъ старается опровергнуть законъ Фарадея, и такъ какъ использованный имъ аргументъ приводился иногда и въ новѣйшее время (хотя онъ съ тѣхъ поръ и исчезъ изъ самой науки), то мы остановимся на немъ въ нѣсколькихъ словахъ. Аргументація Берцелиуса приблизительно такова: Фарадей утверждаетъ, что для того, чтобы выдѣлялись химически эквивалентныя количества различныхъ веществъ, необходимы равныя количества электричества. Но если бы это было вѣрно, то это противорѣчило бы тому факту, что различныя соединенія обладаютъ совершенно различными степенями сродства. Нелѣпо принимать, что при помощи одного и того же количества электричества можно выдѣлять равное количество хлора или эквивалентныя количества обоихъ металловъ изъ хлористаго калия, гдѣ калий сильно связанъ, и изъ хлористаго серебра, гдѣ серебро лишь слабо связано.

Мы знаемъ уже, что то, что Берцелиусъ считалъ невозможнымъ, въ дѣйствительности наступаетъ, ибо законъ Фарадея не знаетъ исключеній и отъ силы химическаго сродства въ электролитахъ совершенно не зависитъ. Но мы знаемъ также, что законъ этотъ не имѣетъ вообще никакого касательства къ сродству тѣлъ. Скорѣе законъ Фарадея вполне можно сравнить съ закономъ Гей-Люссака, по которому равнымъ объемамъ различныхъ газовъ соотвѣтствуютъ химически эквивалентныя количества (въ нѣсколько болѣе широкомъ смыслѣ). Ибо количества электричества — не работы и не силы, а они образуютъ только одинъ факторъ электрической энергіи, а другой ея факторъ есть напряженіе. Въ напряженіи же проявляются и различныя сродства, ибо

для разложенія хлористаго калия необходимо гораздо болѣе сильное напряженіе (при равномъ количествѣ электричества), чѣмъ для разложенія хлористаго серебра. Берцелиусъ же смѣшиваетъ количество электричества съ электрической энергіей или работой, что при тогдашнемъ состояніи науки вполне извинительно. Обладая онъ тѣмъ же чутьемъ, которое въ молодые годы столь часто направляло его на правильный путь, онъ и здѣсь замѣтилъ бы противорѣчіе. Но въ завязавшейся полемикѣ онъ успѣлъ высказаться уже вполне опредѣленно и потому — сталъ глухъ къ слабому голосу чутъя.

Эти бессознательныя побужденія играютъ интересную роль даже у самого Фарадея. Мы говорили уже выше, что онъ былъ ревностнымъ сторонникомъ химической теоріи. Да иначе это и быть не могло, послѣ открытія его закона, хотя, вслѣдствіе своего допущенія объ ограничительномъ примѣненіи этого самаго закона, онъ не могъ почувствовать всю остроту этого аргумента. Въ своихъ изслѣдованіяхъ объ электричествѣ онъ посвящаетъ безчисленное множество параграфовъ доказательству правильности химической теоріи, до бесконечности варьируя эксперименты для этого. При всемъ томъ ему не удалось убѣдить своихъ противниковъ. Но, приведя всѣ эксперименты, въ варьированіи которыхъ столь неистощима была его фантазія, онъ приводитъ одинъ теоретическій аргументъ, который, по его убѣжденію, долженъ показаться убѣдительно въ всѣхъ отдѣльныхъ его опытахъ. Такъ какъ дѣло идетъ здѣсь о рѣшительномъ поворотѣ во всей полемикѣ, то я приведу его слова дословно. Мы имѣемъ въ виду три послѣднихъ параграфа въ 16-мъ рядѣ его экспериментальныхъ изслѣдованій объ электричествѣ, обнародованныхъ въ 1839 году. Три года спустя, въ 1842 году была напечатана первая работа

Роберта Майера, въ которой былъ провозглашенъ принципъ сохраненія энергіи. Четыре года спустя соотечественникъ Фарадея Джоуль сообщаетъ свои эксперименты касательно пропорціональнаго превращенія работы въ теплоту. Отсюда ясно, до какой степени одновременно эти идеи возникали тогда у отдѣльныхъ мыслителей, хотя точная формулировка ихъ, которая въ настоящее время представляется намъ чѣмъ-то само собою понятнымъ, требовала еще самой напряженной работы мысли и самимъ Фарадеемъ, напимѣръ, не только не была достигнута, но даже не понята, когда она была достигнута другими.

„2071) Дѣйствительно, теорія прикосновенія принимаетъ, что сила, способная преодолевать мощныя сопротивленія, каково, напимѣръ, сопротивление хорошихъ или плохихъ проводниковъ, по которымъ проходитъ токъ, или сопротивление электролитовъ, — можетъ возникать изъ ничего. Она принимаетъ, что безъ всякаго измѣненія дѣйствующей матеріи или безъ затраты другой силы можетъ быть вызванъ токъ, непрерывно движущійся противъ постояннаго сопротивленія и задерживаемый только развалинами, которыя его дѣятельность нагромождаетъ на собственномъ его пути, какъ это происходитъ въ батареѣ Вольта. Будь оно такъ, — мы, дѣйствительно, имѣли бы предъ собою сотвореніе силы изъ ничего, и такая сила не имѣла бы себѣ равной въ природѣ. Мы знаемъ множество процессовъ, въ которыхъ форма силы настолько измѣняется, что происходитъ какъ будто превращеніе одной силы въ другую. Такъ, мы можемъ, напимѣръ, превращать химическую силу въ электрическую токъ и токъ — въ электрическую силу. Въ прекрасныхъ опытахъ Зеебека и Пелтье мы имѣемъ превращеніе теплоты и электричества; въ другихъ опытахъ, произведенныхъ Эрстедтомъ и мною, мы имѣемъ пре-

вращение электричества и магнетизма, но никогда,—ни даже у электрического угря и электрического ската,—(1790) не бывает сотворения силы изъ ничего, не создается сила безъ соотвѣтствующаго истощения чего-то, что даетъ пищу для нея“.

„2072) Необходимо всегда помнить, что химическая теорія исходитъ изъ силы, существованіе которой доказано заранѣе, и что она прослѣживается видоизмѣненія ея, рѣдко принимая что-либо, что не подтверждалось бы соотвѣтствующимъ простымъ химическимъ фактомъ. Теорія же прикосновения нагромождаетъ одно допущеніе на другое, пока, наконецъ, сила соприкосновения перестаетъ быть твердой неизмѣнной сущностью ея, какъ это раньше принималъ Вольтъ, а становится настолько же измѣнчивой, какъ сама химическая сила“.

„2073) Будь оно не такъ, будь, наоборотъ, правильна теорія прикосновения,—пришлось бы, мнѣ кажется, отрицать равенство причины и слѣдствія (2069). Тогда было бы возможно и *perpetuum mobile*. Было бы также совсѣмъ не трудно, разъ былъ бы данъ электрический токъ, созданный исключительно прикосновеніемъ, конструировать такой электромагнитный аппаратъ, который, согласно принципу, непрерывно создавалъ бы механическіе эффекты“.

„Примѣчаніе, 29 марта 1840)—Къ сожалѣнію, мнѣ не было раньше извѣстно весьма важное свидѣтельство въ пользу этого философскаго аргумента, именно мнѣніе, высказанное докторомъ *Roget* въ его книгѣ „*Treatise of Galvanism*“, вышедшей въ январѣ 1829 года. Авторъ является,—въ виду фактовъ науки,—сторонникомъ химической теоріи. Но самымъ важнымъ мѣстомъ въ его книгѣ, которое я хотѣлъ бы привести, я считаю слѣдующій параграфъ касательно теоріи прикосновения Вольтъ: „Если бы понадобилось еще одно

соображеніе для опроверженія этой теоріи, то такимъ могло бы быть слѣдующее. Если бы могла существовать сила, которая обладала бы приписываемымъ ей этой гипотезой свойствомъ—именно, свойствомъ сообщать жидкости непрерывный импульсъ въ постоянномъ направленіи, ни мало не истощаясь сама,—то такая сила существеннымъ образомъ отличалась бы отъ всѣхъ другихъ извѣстныхъ силъ природы. Всѣ силы и источники движенія, извѣстные намъ, истощаются, производя свои дѣйствія, и истощаются въ той же пропорціи, въ которой они эти дѣйствія вызываютъ. Вслѣдствіе этого совершенно невозможно получать отъ нихъ постоянный эффектъ, или, другими словами, постоянное движеніе. Электродвижущая же сила, которую Вольтъ приписываетъ находящимся въ соприкосновеніи металламъ, есть такая сила, которая не истощается никогда, покуда приводимое ею въ движеніе электричество не встрѣчаетъ помѣхъ въ своемъ движеніи, а безъ всякаго ослабленія продолжаетъ непрерывно вызывать эффектъ. Правильность такого допущенія весьма мало вѣроятна.—*Roget*“.

Мы говорили уже, что Фарадеу удалось найти общія положенія о іонахъ, но нѣкоторыя подробности ему не удалось развить въ ясномъ и чистомъ видѣ, и эта работа досталась на долю его соотечественника, Даниэля. Въ такой же мѣрѣ Фарадеу не удалось съ достаточной ясностью рѣшить вопросъ о чистомъ типѣ электромоторнаго аппарата. Онъ посвятилъ даже цѣлую статью своихъ изслѣдованій вопросу о конструкціяхъ лучшей батареи. При всемъ томъ ему здѣсь удалось достичь лишь умѣренныхъ результатовъ, не въ примѣръ прочимъ его работамъ.

Важный шагъ впередъ былъ сдѣланъ лишь Даниэлемъ. Нѣтъ никакого сомнѣнія, что ему значительно помогло въ этомъ вполне ясное представленіе его

объ электролитическомъ процессѣ. Каковъ химическій процессъ въ цинкѣ въ случаѣ обыкновенной гальванической цѣпи—цинкѣ-мѣди, погруженной въ разведенную сѣрную кислоту? Безъ сомнѣнія, превращеніе цинка въ сѣрнокислый цинкъ. Но куда дѣвается водородъ, который вытѣсняется при этомъ изъ сѣрной кислоты? Если просто опустить кусокъ цинка въ сѣрную кислоту, то водородъ выдѣляется на нѣкоторыхъ мѣстахъ цинка. Но если цинкъ въ кислотѣ соприкасается съ кускомъ мѣди, серебра, платины или какого-нибудь другого благороднаго металла, то водородъ появляется не на цинкѣ, а на мѣди или другомъ металлѣ. Это было давно уже извѣстно; на этомъ былъ основанъ, напримѣръ, планъ Дэви—защитить мѣдную обивку кораблей отъ окисленія (см. стр. 82). Въ суть этого процесса, представляющаго лишь другую форму раздѣльнаго появленія составныхъ частей при электролизѣ, Даніэль могъ глубже проникнуть, чѣмъ его предшественники. Онъ видѣлъ, что іонъ сульфата SO_4 соединяется съ цинкомъ въ сѣрнокислый цинкъ, $ZnSO_4$, и оба іона водорода изъ сѣрной кислоты отходятъ къ мѣди, гдѣ они и разряжаются. Происходитъ это тогда, когда мѣдь находится въ разведенной сѣрной кислотѣ. Когда же мѣдный катодъ окруженъ мѣдной солью, то на немъ осаждается металлическая мѣдь. Почему же не добиться того же самаго и въ гальванической цѣпи? Этимъ было бы избѣгнуто выдѣленіе водорода, вызывающее столь нежелательную „поляризацию“, т. е. значительное ослабленіе тока, и можно было бы получить большее напряженіе. Ибо даже первые экспериментаторы уже замѣтили, что цинковыя пластинки приходится часто чистить, а если покрыть мѣдную пластинку слоемъ мѣдной соли, то батарея становится лучше. Такъ возникъ элементъ Даніэля, ибо для довершенія всего дѣла требовалось еще только

отдѣлить разведенную сѣрную кислоту какой-нибудь пористой стѣнкой отъ мѣднаго раствора. Для этого Даніэль нашелъ въ неглазированной глинѣ матеріалъ прочный и свободный отъ примѣсей.

И этому глубоко проницательному ученому—великому практику не удалось сдѣлать послѣдній рѣшительный шагъ, несмотря на то, что онъ былъ очень близокъ къ нему и даже сдѣлалъ движеніе въ вѣрномъ направленіи. Зрѣлище, до чрезвычайности интересное! Такъ какъ цинкъ растворяется въ элементѣ, то Даніэль полагалъ, что для этого необходимо соотвѣтствующее количество сѣрной кислоты, и онъ въ такой мѣрѣ опасался возможнаго ухудшенія электропроводности вслѣдствіе образованія окиси на поверхности цинка, что придумалъ даже приспособленіе, которое поддерживало бы постоянный притокъ свѣжей сѣрной кислоты. Впослѣдствіи онъ замѣтилъ, что это излишне, и что элементъ его прекрасно можетъ работать въ теченіе долгаго времени съ однимъ и тѣмъ же количествомъ сѣрной кислоты. Но послѣдній шагъ, открытіе того, что никакой свободной сѣрной кислоты вообще не нужно, не былъ имъ сдѣланъ. Нѣтъ никакого сомнѣнія, что въ такой же мѣрѣ онъ могъ бы найти, продолжая только соотвѣтствующій опытъ, что ту же службу могла бы сослужить въ его элементѣ и насыщенная цинкомъ сѣрная кислота, т. е. сѣрнокислый цинкъ. И въ собственныхъ своихъ теоретическихъ представленіяхъ о противоположномъ движеніи іоновъ—представленіяхъ, составившихъ столь важный шагъ впередъ въ дѣлѣ выясненія электролитической проводимости (см. стр. 101),—онъ могъ бы найти объясненіе этому явленію. Дѣло въ томъ, что, когда на катодѣ изъ сульфата выдѣляется металлическая мѣдь, то становится свободнымъ и эквивалентное количество іона сульфата, вполне достаточное, чтобы образовать съ растворившимся въ это же

время цинкомъ сѣрноокислый цинкъ. И этотъ іонъ сульфата перемѣстился также со своимъ отрицательнымъ электричествомъ къ аноду, къ цинку, гдѣ онъ и можетъ съ нимъ соединиться. Такимъ образомъ, растворъ около цинка непосредственно ничего общаго не имѣетъ съ химическимъ процессомъ въ элементѣ; онъ необходимъ только для того, чтобы заранѣе была обезпечена возможность перемѣщенія электричества, т. е. достаточная проводимость его, для чего достаточна какая-нибудь соль, растворъ, напримѣръ, сѣрноокислаго цинка. Будь это растворъ какой либо другой соли, то это тоже существенной разницы не составило бы, ибо и цинкъ растворился бы. Разница только та, что вмѣсто іона сульфата цинковая соль образовалась бы съ аніономъ взятой соли, ибо іонъ сульфата лишь постепенно присоединяется изъ раствора сѣрноокислой мѣди. Если, напримѣръ, помѣстить цинкъ въ растворъ поваренной соли, то іонъ хлора изъ хлористаго натрія послужилъ бы къ образованію хлористаго цинка.

Это открытіе, что можно и должно помѣщать цинкъ въ нейтральный растворъ соли, было сдѣлано, — одновременно съ конструкціей Даниэля его элемента, — физикомъ М. Г. Якоби въ Петербургѣ. Съ этой удивительной личностью мы познакомимся ближе позднѣе, когда у насъ будетъ рѣчь о техническомъ развитіи электрохиміи. Здѣсь же пусть будетъ достаточно указанія, что Якоби очень долго работалъ надъ рѣшеніемъ вопроса, какимъ образомъ можно было бы получать безопасно и дешево сильные токи. Занятый этими работами — онъ додумался до конструкціи, очень схожей съ конструкціей Даниэля съ той только разницей, что вмѣсто сѣрной кислоты, въ которую былъ помѣщенъ цинкъ, онъ взялъ растворъ нашатыря, или хлористаго аммонія. Дѣйствіе такого раствора ничѣмъ не отличается отъ дѣйствія поваренной соли; преимущество

его въ томъ, что электропроводность въ немъ лучше, ибо іонъ аммонія быстрѣе движется, чѣмъ іонъ натрія. Вмѣстѣ съ тѣмъ Якоби позаботился о томъ, чтобы сопротивление въ его элементѣ было возможно меньше. Для этой цѣли онъ придалъ ему форму неглубокой чашки съ плоскимъ дномъ, въ которой горизонтальныя металлическія пластинки были бы возможно ближе другъ къ другу, каждая въ своей жидкости. Въ качестве пористой стѣнки онъ воспользовался бычачьимъ пузыремъ, натянутымъ на деревянную раму.

Такъ возникъ до извѣстной степени нормальный типъ гальванической цѣпи. Нельзя сказать, что творцамъ ея заранѣе были совершенно ясны всѣ ея свойства. Скорѣе существеннымъ образомъ на конструкцію ея повліяла практическая задача построить такую гальваническую цѣпь, которая сохраняла бы во время работы свою силу, и мы видѣли съ какимъ трудомъ давался каждый шагъ, пока не былъ достигнутъ простѣйшій и наиболѣе правильный типъ. Но въ концѣ концовъ технически лучшее рѣшеніе вопроса стало и научно лучшимъ рѣшеніемъ, и элементъ Даниэля не только работаетъ на телеграфѣ въ теченіе полустолѣтія, но и становится основой скоро воспослѣдовавшаго болѣе глубокаго изслѣдованія о природѣ гальванической цѣпи.

Этими преимуществами своими онъ обязанъ тому обстоятельству, что онъ удовлетворяетъ требованію Риттера (см. стр. 111): въ немъ наступаетъ химическій процессъ только тогда, когда цѣпь замкнута. Ибо ни растворъ сѣрноокислаго цинка (или другой какой либо соли) не дѣйствуетъ на цинкъ, ни растворъ мѣдной соли не дѣйствуетъ на мѣдь, ни, наконецъ, оба раствора — другъ на друга. Когда же оба металла соединяются какимъ-либо проводникомъ, то цинкъ растворяется съ образованіемъ сѣрноокислаго цинка и эквива-

валентное количество сѣрноокислой мѣди переходить въ металлическую мѣдь. Каковъ же здѣсь собственно химическій процессъ, который служить для приведенія въ движеніе тока? Онъ на лицо, когда вы собираете эти вещества, здѣсь столь тщательно раздѣленные. Кусокъ цинка, опущенный въ растворъ сѣрноокислой мѣди, осаждаетъ мѣдь изъ раствора и превращаетъ послѣдній въ растворъ сѣрноокислаго цинка. Но это—то же самое, что происходитъ въ элементъ Даниэля, съ той только разницей, что растворъ цинка и осажденіе мѣди происходятъ въ различныхъ мѣстахъ. Это именно и достигается токомъ, и потому, что этотъ химическій процессъ, который могъ бы и свободно происходить здѣсь, происходитъ только при помощи тока, элементъ Даниэля приводитъ электричество въ движеніе и даетъ въ результатъ электрической токъ.

Упомянемъ еще о третьемъ существенномъ преимуществѣ этого элемента. Будучи вполнѣ опредѣленнымъ съ точки зрѣнія научной, онъ оказался вполнѣ опредѣленнымъ и на практикѣ. Напряжение его въ такой мѣрѣ постоянно и всегда одинаково, независимо отъ той или другой формы его конструкции, что оно и въ наукѣ, и въ техникѣ въ теченіе долгаго времени служило единицею напряженія. И современные элементы, служащіе для измѣренія напряженія, элементъ Clark'a или элементъ Weston'a построены точно по типу элемента Даниэля съ той только разницей, что въ первомъ мѣдь замѣнена ртутью и ея сульфатомъ, а во второмъ, кромѣ того, цинкъ замѣненъ кадміемъ. Измѣненія эти вызваны соображеніями второстепеннаго характера; основнымъ принципомъ является требованіе такъ устроить элементъ, чтобы были на лицо вещества, необходимы для соотвѣтствующаго химическаго процесса, и чтобы они были на мѣстахъ, гдѣ они необходимы, такъ, чтобы при прохожденіи тока измѣнялись только коли-

чества веществъ, но не измѣнялась бы сущность химическаго процесса, какъ это всегда бывало въ прежнихъ конструкціяхъ.

При посредствѣ этого усовершенствованнаго элемента Даниэля были, наконецъ, произведены вычисленія и измѣренія, послужившія для теоретическаго выясненія работы гальванической батареи. Даниэль изобрѣлъ свой элементъ въ 1839 году, а въ 1841 году, т. е. за годъ до обнародованія первой работы Майера, и за два года до собственнаго его сообщенія о превращеніи работы въ теплоту Джемсъ Джоуль обнародовалъ работу, представлявшую собой весьма замѣчательный шагъ впередъ въ направленіи къ тому общему воззрѣнію на возбужденіе электричества химическимъ путемъ, которымъ характеризуется современное состояніе науки.

Джоуль родился въ 1818 году близъ Манчестера, занимался нѣсколькими практическими профессіями и, будучи владѣльцемъ большого пивовареннаго завода въ Сальфордѣ близъ Манчестера, находилъ время и охоту, чтобы заниматься научно техническими экспериментами, доставившими ему громкую славу великаго физика. То былъ, слѣдовательно, одинъ изъ многочисленныхъ въ Англіи любителей науки, которые безъ всякаго академическаго образованія, безъ всякой ученой профессіи предаются научнымъ изслѣдованіямъ и открываютъ много оригинальнаго. Не мѣшаетъ напомнить, что и Чарльзъ Дарвинъ всю свою жизнь оставался свободнымъ научнымъ изслѣдователемъ. Исходной точкой работъ Джоуля была проблема техническая. Около того времени были открыты, такъ называемые, электромагниты съ ихъ большими силами притяженія. Электромагнитъ, какъ извѣстно, есть кусокъ желѣза, обвитый изолированными проволоками, по которымъ проходитъ электрической токъ. Видно было, что можно

построить весьма выгодные механические двигатели, приводимые въ движеніе электричествомъ, и Джоуль сталъ работать надъ этой проблемой—надъ постройкой подобнаго рода двигателей, которые въ настоящее время играютъ столь важную роль во всевозможныхъ производствахъ, на электрическихъ трамваяхъ и т. д. Такъ какъ онъ пользовался весьма сильными токами, то проволоки его очень сильно нагревались. Джоуль понялъ, что это означаетъ извѣстную потерю, и, чтобы ее предупредить, онъ долженъ былъ выяснитъ законы, которыми опредѣляется это образование теплоты. Примѣръ этотъ достаточно ясно иллюстрируетъ какъ высокую техническую цѣнность науки съ одной стороны, такъ и высокую научную цѣнность продуманной технической работы—съ другой. Ибо только научная постановка и разработка проблемы образования теплоты могли обезпечить вѣрную конструкцію желаемаго двигателя, а съ другой стороны, эта техническая проблема дала возможность Джоулю открыть соотвѣтственный законъ, носящій его имя. Онъ нашелъ, что количество образующейся теплоты пропорціонально сопротивленію проводника, помноженному на квадратъ силы тока.

Этотъ законъ оказался и въ послѣдствіи вполне правильнымъ, несмотря на то, что измѣренія, на которыхъ первоначально основывался Джоуль, весьма между собой не совпадали. Примѣнимъ онъ ко всякому проводнику, введенному въ цѣпь тока, въ какомъ угодно мѣстѣ, а слѣдовательно, онъ примѣнимъ и ко всей цѣпи тока. Этотъ шагъ, столь же простой, какъ и смѣлый, навелъ мыслителя-практика на мысль, что вся теплота въ цѣпи электрическаго тока должна разсматриваться, какъ результатъ химическаго процесса въ ней, такъ что токъ, какъ въ послѣдствіи выразился Джоуль, одно только дѣла-

етъ: онъ отводитъ теплоту отъ мѣста реакціи и выдѣляетъ ее въ цѣпи электрическаго тока, соразмѣрно существующимъ въ ней сопротивленіямъ. Сначала онъ ограничился положеніемъ, что вся теплота пропорциональна количеству раствореннаго цинка или вообще числу эквивалентовъ веществъ, играющихъ роль при образованіи тока.

Эти соображенія съ достаточной ясностью показываютъ, сколь близокъ былъ Джоуль къ открытію механическаго эквивалента теплоты. Дѣйствительно, не трудно доказать у Джоуля непрерывную связь идей отъ образованія теплоты въ его гальваническихъ цѣпяхъ и электромагнитныхъ аппаратахъ вплоть до образованія теплоты при простѣйшихъ и наиболѣе наглядныхъ условіяхъ, именно треніемъ. И здѣсь онъ дѣлаетъ тотъ же замѣчательный шагъ: чтобы справиться съ проблемой технической, онъ подвергаетъ ее научному изслѣдованію въ ея наиболѣе общей и простой формѣ.

Изъ приведеннаго выше положенія Джоуля касательно связи, существующей между теплотой, развиваемой токомъ, и силой тока или между сопротивленіемъ, съ одной стороны, и отношеніемъ къ химическому процессу—съ другой, не трудно сдѣлать весьма опредѣленный выводъ относительно электродвижущей силы въ гальванической цѣпи Вольты. Тогда—Джоулемъ этотъ выводъ не былъ сдѣланъ, но онъ былъ сдѣланъ нѣсколько лѣтъ спустя Гельмгольцемъ. Въ основ-ной своей работѣ о сохраненіи силы, обнародованной въ 1847 году, Гельмгольцъ пользуется закономъ Джоуля, найденнымъ вскорѣ послѣ этого и Ленцомъ, и, предпринявъ въ немъ нѣкоторыя простыя преобразованія, онъ съ помощью закона Ома, приходитъ къ положенію, что вся теплота электрическаго тока равна произведенію

напряженія, существующаго въ гальванической цѣпи, на прошедшее черезъ нее количество электричества ¹⁾.

Если принять, что „химическая теплота“, т. е. количество теплоты, развивающееся при непосредственномъ химическомъ процессѣ, равно теплотѣ электрической, то отсюда слѣдуетъ, что химическая теплота равна произведенію напряженія на количество электричества, или же если, согласно закону Фарадея, взять такія эквивалентныя количества вещества, которыя соотвѣтствуютъ единицѣ количества электричества, то электродвижущая сила гальванической цѣпи численно равна количеству теплоты, выдѣляемой этими количествами вещества.

Подобнаго же рода вычисленіе, но значительно лучшее, такъ какъ были вычислены всѣ входящія сюда величины, было обнародовано нѣсколько лѣтъ спустя Уильямомъ Томсономъ. Томсонъ родился въ 1824 году, въ семьѣ превосходнаго учителя математики и физики Джемса Томсона въ Бельфаствѣ, учился и воспитывался подъ руководствомъ отца своего вмѣстѣ съ братомъ своимъ Джемсомъ. Учился онъ съ такимъ успѣхомъ, что уже къ 10 годамъ могъ посѣщать университетъ въ Глазго, куда за это время былъ пере-

¹⁾ У Гельмгольца уравненіе это не имѣетъ еще этой простой формы, такъ какъ вмѣсто количества электричества онъ беретъ еще произведеніе силы тока на время прохожденія его. Но такъ какъ сила тока равна количеству электричества, прошедшему въ единицу времени, то произведеніе силы тока на время равно всему количеству электричества, прошедшему черезъ цѣпь въ это время. Время, въ теченіе котораго происходятъ эти процессы, здѣсь вообще не важно. Эта излишняя подробность, объясняется тѣмъ, что въ то время непосредственно измѣряли (при помощи гальванометра) не количества электричества, а только силы тока, вслѣдствіе чего эти послѣднія и фигурировали въ вычисленіяхъ.

веденъ его отецъ. Прочувшись въ этомъ университетѣ шесть лѣтъ, онъ перешелъ въ университетъ въ Кембриджѣ, гдѣ скоро выдѣлился, какъ очень даровитый математикъ, несмотря на то, что онъ тратилъ гораздо больше времени на занятія спортомъ и искусствомъ, чѣмъ на изученіе наукъ. Ему не было еще и 20 лѣтъ, когда цѣлый рядъ чрезвычайно оригинальныхъ и остроумныхъ работъ сдѣлалъ его имя извѣстнымъ, такъ что къ 22 годамъ онъ былъ уже профессоромъ университета въ Глазго. И онъ оправдалъ возлагавшіяся на него надежды, ибо пятьдесятъ лѣтъ спустя, когда праздновался пятидесятилѣтній юбилей его профессорской дѣятельности (онъ никогда не оставлялъ университета въ Глазго), его привѣтствовали представители науки изъ всѣхъ частей культурнаго міра.

Работа, о которой у насъ должна идти здѣсь рѣчь, была обнародована въ 1851 году. Томсону было тогда, слѣдовательно, 27 лѣтъ. Воспользовавшись токомъ отъ какого-нибудь электрохимическаго аппарата, онъ приводитъ имъ въ дѣйствіе электродинамическую машину вычисляетъ ея работу, на основаніи закона сохраненія энергіи, и получаетъ механическій эквивалентъ соотвѣтствующаго химическаго процесса; имѣя же механическій эквивалентъ, онъ, при помощи механическаго эквивалента теплоты, вычисляетъ и термическій эквивалентъ. Эти изслѣдованія приводятъ его, наконецъ, къ слѣдующимъ положеніямъ: „Интенсивность электрохимическаго аппарата въ абсолютныхъ мѣрахъ равна механическому эквиваленту химическаго дѣйствія въ такомъ размѣрѣ, который приходится на токъ единицы силы въ единицу времени“. Подъ интенсивностью здѣсь подразумѣвается электродвижущая сила.

Вычисленіе, произведенное Уильямомъ Томсо-

номъ для элемента Даниэля съ помощью данныхъ Джоуля, обнаружило прекрасное совпаденіе вычисленной электродвижущей силы съ наблюдаемой. Теорія такимъ образомъ получила „неожиданное подтвержденіе“ и въ послѣдствіи была принята всѣми. Правда, этотъ первый успѣхъ былъ и наибольшимъ. Когда другіе физики примѣнили тѣ же вычисленія къ другимъ элементамъ, пользуясь ставшими къ тому времени болѣе точными данными, то обнаружились большія и меньшія различія. Въ большинствѣ случаевъ электродвижущая сила оказывалась меньше той, которая должна была получиться согласно теоріи, но получался, — правда, весьма рѣдко — и противоположный результатъ.

Исслѣдователи, нашедшіе эти противорѣчія противъ теоріи, естественно, не сдѣлали отсюда того вывода, что сама теорія ложна. Въ тогдашнемъ своемъ видѣ она имѣла еще столь запутанную математическую форму, что о ней можно было сказать то, что сказалъ однажды Лихтенбергъ о философіи Канта: ее такъ трудно понять, что человѣкъ, понявшій ее, наконецъ, уже по одному этому твердо убѣжденъ въ томъ, что она должна быть правильна, ибо для критической провѣрки ея онъ слишкомъ уже истощенъ. И это — общее явленіе въ исторіи науки: результатъ, добытый при помощи большого математическаго аппарата, именно поэтому считается болѣе надежнымъ, чѣмъ результатъ, полученный простыми и непосредственными соображеніями. Въ дѣйствительности же дѣло происходитъ какъ разъ наоборотъ: чѣмъ сложнѣе математическій выводъ, тѣмъ больше шансовъ на то, чтобы въ него вкралась ошибка, не говоря уже о случаяхъ, когда тѣми или другими величинами приходится „пренебречь“, — случаяхъ, безъ которыхъ не обходится ни одинъ почти математическій выводъ, проведенный отъ первыхъ предпосылокъ до окончательнаго результата. Причина этого выгоднаго

для математиковъ предразсудка лежитъ, съ одной стороны, въ трудности для не-математиковъ провѣрить результатъ, а съ другой стороны, — въ томъ фактѣ, что очень многіе превосходные математики были, кромѣ того, и весьма способными и здравомыслящими физиками. Къ такимъ именно математикамъ принадлежалъ Уильямъ Томсонъ, и такъ какъ онъ совершенно свободно справлялся съ вычисленіями, которыя среднему физiku показались бы уже нѣсколько трудными, то онъ могъ направить всѣ силы своего остраго ума на то, чтобы слѣдить за фактической правильностью своего результата; этимъ объясняется и великій успѣхъ его. Но было не мало превосходныхъ математиковъ, менѣе интересовавшихся физической стороной своихъ проблемъ и менѣе ее понимавшихъ, и, дѣлая правильное примѣненіе математики къ ложнымъ физическимъ предпосылкамъ, они, естественно, получали и результаты, никуда не годные.

Было не мало ученыхъ, которые въ изслѣдованіяхъ своихъ о связи, существующей между электродвижущей силой и химическимъ развитіемъ теплоты, или, — говоря болѣе современнымъ языкомъ, — о превращеніи химической энергіи въ электрическую, исходили изъ той предпосылки, что найденная Гельмгольцемъ и Томсономъ формула должна быть вѣрна, а если существуютъ какія-нибудь отклоненія отъ нея, то они должны быть отмѣчены какими-нибудь ad hoc придуманными допущеніями. Но намъ нѣтъ надобности подробно останавливаться здѣсь на изложеніи этихъ учений. Мы обратимся лучше къ работамъ изслѣдователя, сдѣлавшаго попытку снова поставить проблему въ непосредственной ея формѣ и подвергнуть ее разработкѣ. То былъ французскій химикъ Пьеръ Антуанъ Фавръ. Родился Фавръ въ 1813 году въ Ліонѣ, долгое время занималъ различныя должности въ уче-

ныхъ учрежденіяхъ Парижа, былъ профессоромъ и деканомъ университета въ Марселѣ и умеръ въ 1880 году. Когда онъ приступилъ къ рѣшенію этой проблемы, его имя было уже извѣстно въ наукѣ, благодаря термохимическимъ изслѣдованіямъ, произведеннымъ имъ въ сотрудничествѣ съ другомъ своимъ, физикомъ Зильберманномъ. Онъ исходилъ въ своихъ работахъ изъ того же положенія, которое высказалъ еще въ своей юношеской работѣ Гельмгольцъ, а именно, что вся теплота, развивающаяся въ цѣпи батареи и ея проводниковъ, зависитъ, согласно закону Джоуля, только отъ сопротивленій. Что это такъ и происходитъ въ металлическомъ кругѣ, можно утверждать съ весьма большимъ приближеніемъ, ибо охлажденіе или нагреваніе въ такихъ мѣстахъ, гдѣ соприкасаются различные металлы,—явленіе, найденное Пелтье и носящее его имя,—столь невелики, что они ничтожно малы сравнительно съ величинами даннаго явленія. Далѣе, Джоуль также доказалъ, что его законъ имѣетъ силу и въ свободномъ отъ явленій поляризаціи электролитѣ (сѣрноокислая мѣдь между мѣдными электродами). Оставалось только рѣшить еще вопросъ, не происходятъ ли какія-нибудь мѣстныя термическія явленія у самихъ электродовъ батареи, — явленія, которыя колеблутъ въ основѣ всѣ вычисленія.

Чтобы рѣшить этотъ вопросъ, Фавръ произвелъ слѣдующіе опыты. Во-первыхъ, онъ помѣстилъ въ свой калориметръ всю свою батарею вмѣстѣ со всей гальванической цѣпью и опредѣлилъ какъ выдѣлившуюся теплоту, такъ и количество растворившагося цинка. Въ полномъ согласіи съ закономъ сохраненія энергіи, количество этой теплоты оказалось просто равнымъ тому количеству теплоты, которое развивается дѣйствіемъ химическаго процесса гальваническаго элемента, ибо все количество энергіи не можетъ измѣниться отъ

того, что часть ея на время приняла форму электрической энергіи. Затѣмъ онъ помѣстилъ часть сопротивленія въ другой калориметръ и установилъ, и это въ такомъ случаѣ изъ перваго калориметра во второй переходитъ и часть теплоты, и это находилось въ полномъ соотвѣтствіи съ закономъ Джоуля. Переводя въ этотъ второй калориметръ все большую и большую часть этого внѣшняго сопротивленія, онъ получалъ въ немъ все большую и большую часть химической теплоты. Когда, однако, внѣшнее сопротивление стало несравненно больше, чѣмъ внутреннее сопротивление батареи, такъ что вся теплота должна была перейти изъ батареи въ этотъ второй калориметръ, согласно вышеприведенному воззрѣнію Гельмгольца и Томсона, онъ этого не могъ констатировать со своими элементами (цинкъ и платина въ слабой сѣрной кислотѣ): нѣкоторая часть химической теплоты упорно оставалась въ батареѣ и внѣшними сопротивленіями не могла быть изъ нея извлечена.

Это и была, слѣдовательно, та часть теплоты, которая выдѣляется у электродовъ элемента и потому не можетъ быть переведена въ электрическую энергію, ибо если бы она могла быть переведена, то это и случилось бы.

Этотъ непосредственный методъ основанъ, очевидно, на непосредственныхъ измѣреніяхъ энергіи, а не на вычисленіяхъ другихъ измѣряемыхъ величинъ. Изслѣдованія другихъ элементовъ при помощи того же метода дали и другіе результаты. Въ особенности удается всю химическую теплоту извлечь наружу изъ элемента Даниэля; въ немъ, слѣдовательно, внутри не развивается никакая другая теплота, кромѣ той, которая зависитъ отъ его сопротивленія, согласно закону Джоуля.

Въ элементѣ, который главнымъ образомъ изслѣдо-

валъ Фавръ, оставшаяся часть теплоты, которую никакъ нельзя было извлечь изъ элемента, составляла одну шестую часть всей образовавшейся теплоты. Эта часть, слѣдовательно, образуется въ самомъ элементѣ, независимо отъ существующаго тамъ сопротивленія, и образовалась бы также въ элементѣ, сопротивленіе котораго было бы равно нулю. Фавръ очень много ломалъ голову надъ вопросомъ, какъ это можетъ быть, и значительно повредилъ великой цѣнности своего важнаго эксперимента плохими разсужденіями о причинѣ. Однако, плодотворная мысль, лежащая въ основѣ этихъ измѣреній, была усвоена Франсуа Раулемъ, продолжавшимъ работы Фавра. Фавръ оставилъ эту проблему, чтобы отдаться весьма обширной работѣ о явленіяхъ развитія теплоты при химическихъ процессахъ вообще. За нее принялся Рауль со всей ревностью ученаго, приступающаго къ первой своей работѣ, и довелъ ее до конца. Результатъ, полученный имъ, былъ таковъ: первый элементъ, въ которомъ получилось равенство между электрической и химической энергіей, именно элементъ Даніэля, есть чуть ли не единственный элементъ, въ которомъ это равенство дѣйствительно есть. Въ цѣломъ же рядѣ другихъ постоянныхъ элементовъ, включая и элементъ, изслѣдованный Фавромъ, химическая теплота больше электрической. Рядомъ съ этимъ, однако, оказались и такіе элементы, въ которыхъ, наоборотъ, электрическая энергія больше химической. Эти элементы, слѣдовательно, при прохожденіи тока охлаждаются (если не считать „теплоты Джоуля“, т. е. той теплоты, которая зависитъ отъ сопротивленія, согласно закону Джоуля). Ибо, согласно закону сохранения энергіи, они должны же откуда нибудь заимствовать тотъ излишекъ энергіи, который они выдѣляютъ въ формѣ электрической энергіи, а такъ какъ они не получаютъ его

сполна изъ химическаго процесса, то они берутъ его въ видѣ теплоты изъ окружающей среды.

Эта важная работа была обнародована въ 1865 году. Рауль родился въ 1830 году въ Фурнѣ (на сѣверѣ), началъ свою ученую карьеру въ Парижѣ, подобно всѣмъ почти французскимъ ученымъ, и послѣ обнародованія своей работы получилъ профессуру въ Греноблѣ, гдѣ и оставался до самой своей смерти. Онъ не удостоился никакого признанія за это изслѣдованіе, какъ оно ни было важно. Произошло это, вѣроятно, потому, что результатъ его противорѣчилъ общепринятымъ въ то время воззрѣніямъ. Послѣ этого онъ сдѣлалъ еще нѣсколько работъ, не добившись большого успѣха, и только въ преклонныхъ лѣтахъ перешелъ въ другую область, работа въ которой и доставила ему всемірную славу. Область эта — явленія, связанныя съ пониженіемъ точки замерзанія и повышеніемъ точки кипѣнія растворовъ. Онъ открылъ здѣсь простые законы, устанавливающіе связь между этими величинами и молекулярнымъ вѣсомъ растворенныхъ солей. Сначала эти изслѣдованія казались весьма скромными и встрѣтили мало сочувствія среди его французскихъ товарищей по специальности, но тѣсная связь, обнаружившаяся между этими законами и въ послѣдствіи выставленной теоріей растворовъ ванъ-Гоффа, вскорѣ обнаружила ихъ фундаментальное значеніе.

Вскорѣ послѣ этого вернулся къ оставленной работѣ и Фавръ и пришелъ къ совершенно тѣмъ же результатамъ, что и Рауль. Но послѣдній сумѣлъ посмотреть на найденные имъ факты безпристрастно и на основаніи ихъ констатировать, что химическая и электрическая энергіи въ элементахъ далеко не просто превращаются другъ въ друга, а что здѣсь всегда играетъ извѣстную роль теплота. Иначе посмотрѣлъ на дѣло Фавръ: онъ нашелъ нужнымъ удержать въ

качествъ принципа положеніе о равенствѣ обоихъ количествъ энергіи, а отъ наблюдаемаго различія онъ постарался какъ-нибудь отдѣлаться при помощи спеціально придуманнаго допущенія. Высказанныя имъ мысли не имѣли никакого успѣха въ наукѣ, и потому намъ нѣтъ никакой надобности на нихъ останавливаться. Онѣ представляютъ, однако, извѣстный интересъ, какъ примѣръ гипнотизирующаго дѣйствія остроумной и вооруженной извѣстнымъ математическимъ аппаратомъ теоріи.

На томъ дѣло и остановилось послѣ исполненія этихъ работъ на долгое время. Въ учебникахъ и другихъ сочиненіяхъ излагалась теорія Гельмгольца—Томсона, а доказанныя отклоненія отъ нея, если о нихъ вообще упоминалось, объяснялись какими-нибудь „побочными реакціями“. Для этихъ же послѣднихъ не находили никакого другого опредѣленія, кромѣ того, что онѣ составляютъ часть общей реакціи, не подчиняющуюся той теоріи. Очевидно, что этого далеко не достаточно; скорѣе, подобное состояніе теоріи служить самымъ вѣрнымъ доказательствомъ того, что въ ней чего-то существеннаго не хватаетъ. Этимъ существеннымъ должно быть, очевидно, отношеніе къ какой-либо другой величинѣ, независимо поддающейся опредѣленію. Что это за величина, въ концѣ концовъ тоже было выяснено ученіемъ объ энергіи; въ противоположность главной части теоріи рѣшающую роль здѣсь сыгралъ не первый основной принципъ этого ученія, а второй ¹⁾.

Этотъ чрезвычайно общій законъ природы можетъ найти здѣсь примѣненіе въ слѣдующей формѣ. Для того, чтобы какое-нибудь образованіе находилось въ

¹⁾ Болѣе подробно объ исторіи и содержаніи этихъ двухъ основныхъ положеній объ энергіи читатель найдетъ въ книгѣ автора „Die Energie“.

состояніи равновѣсія,—т. е. въ такомъ состояніи, которое въ себѣ самомъ носитъ условія долговѣчности и потому свободно образуется вездѣ, гдѣ имѣются налицо условія соотвѣтствующихъ процессовъ,—оно должно обладать слѣдующимъ особымъ свойствомъ: всякій разъ, когда вы насильно хотите вывести его изъ этого состоянія равновѣсія, возникаютъ силы (въ самомъ общемъ смыслѣ) или тенденціи, которыя возвращаютъ его въ это состояніе. Простѣйшій примѣръ такого состоянія есть тяжесть, подвѣшенная на нити. Состояніе покоя этой тяжести зависитъ безусловно отъ того обстоятельства, что при каждомъ своемъ движеніи она приходитъ въ положеніе, изъ котораго она должна вернуться въ положеніе равновѣсія: каждая точка шаровой поверхности, внутри которой она можетъ двигаться, лежитъ выше того мѣста, въ которомъ она находится въ равновѣсіи, такъ что каждый разъ, когда она изъ этого мѣста удаляется, возникаютъ силы, возвращающія ее обратно.

Въ области явленій теплоты мы имѣемъ вполне подобныя же общеизвѣстные примѣры. Между жидкой водой и парами ея можетъ быть равновѣсіе, ибо при данной температурѣ пары имѣютъ вполне опредѣленное давленіе. Съ повышеніемъ температуры это равновѣсіе нарушается, и наша система изъ воды и паровъ реагируетъ противъ такой попытки процессомъ, мѣшающимъ такому нарушенію: часть воды испаряется и тѣмъ связываетъ весьма значительную часть сообщенной теплоты. Съ пониженіемъ же температуры часть паровъ переходитъ въ жидкое состояніе, и освобождающаяся теплота снова противодействуетъ насильственному измѣненію состоянія равновѣсія. По этой причинѣ то обстоятельство, что съ повышеніемъ температуры и увеличеніемъ количества паровъ (здѣсь предполагается, конечно, замкнутое пространство) давленіе ихъ воз-

растаетъ, самымъ тѣснымъ образомъ связано съ другимъ обстоятельствомъ, а именно, что при образованіи паровъ изъ воды теплота поглощается. Если бы теплота при этомъ, наоборотъ, выдѣлялась, то равновѣсія вообще не могло бы быть. Ибо если бы мы дали тогда образоваться еще небольшому количеству паровъ, то вода сильно нагрѣлась бы, образовалось бы еще больше паровъ, что привело бы къ тому, чтобы образовалось еще больше паровъ и т. д. Другими словами, вода превратилась бы въ пары въ одномъ взрывѣ, если бы теплота испаренія обнаружила свойства, обратныя тѣмъ, какія она имѣетъ въ дѣйствительности. Съ другой стороны, если бы давленіе паровъ съ повышеніемъ температуры понижалось, а теплота испаренія сохраняла теперешнія свои свойства, мы имѣли бы обратный процессъ: если бы часть паровъ перешла въ жидкое состояние, давленіе паровъ стало бы меньше, температура жидкости понизилась бы, вслѣдствіе чего еще часть паровъ превратилась бы въ жидкость и т. д. до превращенія всѣхъ паровъ въ воду. И это состояніе не было бы устойчивымъ, и оно не было бы состояніемъ равновѣсія.

Примѣнимъ эти разсужденія къ гальваническимъ элементамъ, въ которыхъ при прохожденіи тока выдѣляется или поглощается „мѣстная“ теплота. Къ нимъ принадлежитъ большинство гальваническихъ элементовъ. Въ такомъ случаѣ электродвижущая сила; или напряженіе, должна на измѣненія температуры реагировать такъ, какъ въ приведенномъ только что примѣрѣ реагируетъ на эти измѣненія давленіе, т. е. она должна противодействовать насильственнымъ измѣненіямъ. Допустимъ, что при прохожденіи тока, какъ онъ свободно проходитъ въ случаѣ короткаго замыканія, теплота поглощается, какъ поглощается теплота при переходѣ воды въ пары. Чтобы получить состояніе равно-

вѣсія, мы представимъ себѣ, что оба электрода нашего элемента соединены съ большимъ конденсаторомъ, который заряжается до извѣстнаго напряженія и посылаетъ обратно въ элементъ токъ противоположнаго направленія, когда напряженіе въ немъ падаетъ. Въ такомъ случаѣ съ повышеніемъ температуры должно повышаться и напряженіе, образующійся вслѣдствіе этого токъ долженъ вызвать охлажденіе и тѣмъ компенсировать сообщенную теплоту. Если же элементъ работаетъ съ выдѣленіемъ теплоты, то напряженіе должно съ повышеніемъ температуры понижаться, ибо иначе получилось бы опять свободное усиленіе процесса и, слѣдовательно, состояніе, противоположное состоянію равновѣсія.

Между этими двумя крайностями лежитъ случай средній, въ которомъ во время работы элемента мѣстная теплота ни выдѣляется, ни поглощается, т. е. химическая энергія прямо превращается въ электрическую. Въ такомъ случаѣ и напряженіе не измѣняется вмѣстѣ съ температурой, такъ какъ при прохожденіи тока не бываетъ никакого термическаго дѣйствія, которое должно было бы быть компенсировано.

Было же, какъ извѣстно, найдено, что въ элементѣ Даніэля химическая его энергія прямо превращается въ электрическую. Въ такомъ случаѣ и напряженіе его, или электродвижущая сила, не должно измѣняться съ температурой. Опытъ этотъ былъ произведенъ задолго до того, какъ былъ сдѣланъ этотъ теоретическій выводъ, ибо Поггендорфъ нашелъ, что элементъ Даніэля при весьма различныхъ температурахъ на практикѣ обнаруживаетъ одно и то же напряженіе. Оба факта были очень долго извѣстны рядомъ, но никто не замѣтилъ связи между ними, потому что разсужденія,

подобныя тѣмъ, которыя мы только что изложили, были еще совсѣмъ необычны въ наукѣ.

Обобщая все сказанное выше, мы должны сказать, что изъ теплоты, связанной съ химическимъ процессомъ въ элементѣ, можетъ быть вычислена основная величина электродвижущей силы и именно такимъ образомъ, какъ это указали Гельмгольцъ и Томсонъ. Получающаяся при этомъ величина уже вѣрна, если съ измѣненіемъ температуры напряженіе въ элементѣ не измѣняется. Въ противномъ случаѣ она должна быть уменьшена, если напряженіе понижается въ элементѣ съ повышеніемъ температуры, и увеличена, если оно повышается; въ такомъ случаѣ дѣйствительное его напряженіе больше, чѣмъ то, которое получается вычисленіемъ изъ теплоты химической реакціи.

Не слѣдуетъ думать, будто всѣ эти возрѣнія развивались такъ просто, какъ это здѣсь было изложено въ цѣляхъ общедоступности пониманія. Нѣтъ, исторія этой главы электрохиміи въ такой же степени, по меньшей мѣрѣ, осложнялась взаимнымъ непониманіемъ, какъ и неправильностями въ научномъ рѣшеніи задачи, какъ въ свое время борьба между теоріей прикосновенія и химической теоріей. Но отдѣльные переходные моменты въ дѣлѣ достиженія изложенныхъ здѣсь взглядовъ были столь малы и распредѣлились между такимъ множествомъ различныхъ изслѣдователей, что точное и подробное изложеніе должно было бы слишкомъ углубиться въ подробности. Къ тому же различные изслѣдователи работали здѣсь до извѣстной степени независимо, вслѣдствіе чего едва ли возможно объединить это множество отдѣльных и слабыхъ голосовъ въ одну стройную симфонію. Мы ограничимся, поэтому, еще описаніемъ заключительнаго періода рѣшенія этой проблемы, тѣмъ болѣе, что это было дѣломъ двухъ мастеровъ перваго ранга. Съ однимъ изъ нихъ, именно съ

Гельмгольцемъ, мы мимоходомъ познакомились уже выше.

Германнъ Гельмгольцъ родился въ 1821 году въ Потсдамѣ, въ семьѣ учителя гимназіи. Онъ былъ слабенькимъ, но рано созрѣвшимъ ребенкомъ, усвоившимъ основныя положенія геометріи, играя въ кубики, и пришедшимъ въ изумленіе, когда ему пришлось вновь съ ними знакомиться въ школѣ. Несмотря на то, что и дома, и въ школѣ онъ находился подъ сильнымъ „гуманистическимъ“ вліяніемъ, онъ вскорѣ нашелъ Цицерона и Virgilia весьма скучными и уже на школьной скамьѣ сталъ самостоятельно заниматься открытіемъ оптическихъ законовъ. При весьма скудныхъ доходахъ своего отца онъ имѣлъ одну только возможность удовлетворить свою склонность къ изученію естественныхъ наукъ—поступить въ Военно-Медицинскую Академію съ обязательствомъ отслужить военнымъ врачомъ за даровое обученіе. Въ библиотекарѣ школы ему посчастливилось найти друга, добывавшаго для него всѣ необходимыя ему для частныхъ занятій научныя сочиненія, и великій фізіологъ Іоганнъ Мюллеръ, на разсмотрѣніе котораго онъ представилъ свою первую научную работу (по анатоміи нервовъ), вскорѣ оцѣнилъ превосходныя научныя дарованія молодого человѣка и сталъ покровительствовать ему. Вопросы объ образованіи теплоты въ тѣлѣ животнаго вскорѣ привели его къ тому же обобщенію, къ которому пришелъ за нѣсколько лѣтъ до него Робертъ Майеръ; Но Майеру, вслѣдствіе недостаточнаго его образованія, очень трудно давалось выраженіе для найденнаго, Гельмгольцу же, благодаря выдающимся математическимъ дарованіямъ, удалось всю совокупность извѣстныхъ тогда физическихъ явленій привести въ связь съ закономъ сохраненія энергіи.

Выраженіе „сохраненіе силы“ онъ, правда, заимствовалъ у Майера.

Эта работа была встрѣчена научнымъ міромъ не очень-то благосклонно. Другое дѣло—почти совпавшее съ этимъ изобрѣтеніе Гельмгольцемъ глазного зеркала и опредѣленіе времени распространенія раздраженія по нерву. Они сдѣлали уже его имя довольно извѣстнымъ въ ученomъ мірѣ, такъ что военное министерство въ Пруссіи освободило его отъ его обязательствъ съ тѣмъ, чтобы онъ могъ посвятить себя всецѣло своей ученой карьерѣ. Онъ былъ послѣдовательно профессоромъ въ Кенигсбергѣ, Боннѣ, Гейдельбергѣ и Берлинѣ и, сдѣлавъ не мало работъ основнаго значенія въ области физиологій органовъ чувствъ, посвятилъ себя всецѣло работамъ по чистой и математической физикѣ. Впослѣдствіи, когда преподаваніе, которымъ онъ никогда не занимался съ особой охотой и съ особымъ успѣхомъ, стало слишкомъ уже тяготить его, другъ его Вернеръ Сименсъ создалъ для него мѣсто президента въ основанномъ имъ научно-техническомъ имперскомъ учрежденіи, гдѣ ему было предоставлено самому опредѣлять кругъ своихъ обязанностей. Онъ умеръ въ 1894 году послѣ почти непрерывной дѣятельности, вслѣдствіе сильной потери крови, вызванной паденіемъ. Онъ умеръ на 73-мъ году жизни, сохранивъ до конца ея почти безъ всякаго ущерба всю свою работоспособность, какъ со стороны объема, такъ и со стороны цѣнности сдѣланныхъ работъ.

Вернемся, однако, къ вопросу объ отношеніи, существующемъ между химической и электрической энергіями. Приведенная выше простая формула, выражающая это отношеніе, была предложена Гельмгольцемъ еще въ юношескомъ его сочиненіи о сохраненіи силы. Впослѣдствіи, когда онъ сталъ заниматься изученіемъ процессовъ электролиза, будучи профессоромъ физики въ

Берлинѣ, онъ натолкнулся на противорѣчія съ прежнимъ допущеніемъ. Онъ сталъ вносить въ него поправки, въ результатъ чего получилась, какъ это всегда съ нимъ бывало, довольно основательная работа. Объ этой работѣ мы будемъ рассказывать ниже, ибо его предупредилъ здѣсь, помимо его вѣдома, не менѣе выдающійся сотрудникъ, американецъ Вилларъ Гиббсъ. И сдѣлано это было не въ специальной работѣ, посвященной именно этому предмету, а формула представляетъ собой одинъ изъ безчисленныхъ результатовъ чрезвычайно общаго и обширнаго изслѣдованія о равновѣсіи разнородныхъ веществъ. Сначала Гиббсъ въ классически завершенной формѣ подвергъ изслѣдованію условія равновѣсія химически измѣняющихся веществъ въ ихъ зависимости отъ давленія и температуры (или условія равновѣсія между химической энергіей, энергіей объема и тепловой энергіей). Эти изслѣдованія привели къ установленію теоретическихъ основъ новѣйшей общей или физической химіи. Послѣ этого онъ перешелъ къ изслѣдованію другихъ формъ энергіи (энергіи упругости, энергіи поверхности) и, наконецъ, перешелъ къ изученію условій равновѣсія въ случаѣ энергіи электрической. Вотъ здѣсь-то и была найдена формула, дающая точное выраженіе тому, что мы изложили выше, и предоставляющая возможность вычислить электродвижущую силу изъ теплоты химической реакціи и изъ измѣненія напряженія въ связи съ измѣненіемъ температуры; кромѣ того, въ эту формулу входитъ еще въ качествѣ важной величины и температура.

Работа В. Гиббса становилась извѣстной весьма медленно. Онъ обнародовалъ ее въ очень мало распространенномъ журналѣ, въ запискахъ мѣстной американской академіи, и она стала оказывать свое вліяніе лишь послѣ того, какъ ее открыли и познакомили съ

ней ученый миръ другіе ученые ¹⁾. Этотъ не совсѣмъ обыкновенный способъ печатанія своихъ работъ находится въ тѣсной связи съ личнымъ характеромъ этого великаго ученаго. Онъ принадлежалъ всецѣло къ типу осторожныхъ и до щепетильности добросовѣстныхъ изслѣдователей, долго вынашивающихъ свои работы, но зато доводящихъ ихъ до такого совершенства, какое только доступно человѣческимъ силамъ. Въ этой важной работѣ не меньше 700 формулъ, и ни въ одной изъ нихъ по сей день не удалось открыть ни малѣйшей ошибки. Что касается внѣшнихъ обстоятельствъ жизни, то онъ родился въ 1839 году въ семьѣ профессора университета въ Нью-Гавенѣ, въ Коннектикутѣ. Учился онъ въ родномъ университетѣ, затѣмъ отправился на нѣсколько лѣтъ въ Европу для завершения своего образованія, вернулся на родину, гдѣ вскорѣ получилъ кафедру въ томъ же университетѣ, къ которому принадлежалъ, такъ сказать, отъ рожденія. Здѣсь онъ и провелъ всю свою жизнь въ величайшей тишинѣ, занятый исключительно своими работами. Преподавательской своей дѣятельностью онъ тоже не особенно выдавался, такъ что окружающіе и не подозревали всего важнаго значенія его работъ. Признаніе ихъ чрезвычайной цѣнности было принесено къ нимъ лишь изъ Европы. Характеренъ для его личности тотъ фактъ, что, когда его попросили прислать свой портретъ для нѣмецкаго изданія, онъ отклонилъ эту просьбу, мотивируя отказъ тѣмъ, что это безъ всякой пользы удорожитъ изданіе. Онъ умеръ въ 1902 году.

Нѣсколько позже Гиббса, но совершенно независимо отъ него и собственнымъ путемъ пришелъ къ правильной формулѣ и Гельмгольцъ. Просматривая различныя работы, обнародованныя этимъ великимъ ученымъ, нетрудно прослѣдить весь циклъ развитія его воззрѣній въ этой области. Приступая къ электрохимическимъ изслѣдованіямъ въ 1877 году, онъ держится взглядовъ, изложенныхъ въ юношеской его работѣ. Затѣмъ онъ находитъ, что нѣкоторые наблюденные имъ факты не вполне согласуются съ этими воззрѣніями, и, поразмысливъ надъ этимъ, онъ приходитъ къ убѣжденію, что они вызываютъ немаловажныя принципиальныя сомнѣнія, вслѣдствіе чего необходимо пересмотрѣть всей точки зрѣнія. И этотъ пересмотръ приводитъ его къ слѣдующему общему воззрѣнію.

Въ случаѣ процессовъ, происходящихъ при опредѣленныхъ условіяхъ (какъ напримѣръ, при постоянной температурѣ), можно всю участвующую въ нихъ энергію раздѣлить на двѣ части: на свободную и на связанную. Первая можетъ быть неограниченно превращена въ другія формы энергіи, вторая же вовсе въ нихъ не превращается. Количество свободной энергіи не зависитъ отъ того, какъ происходятъ ея превращенія. Поэтому, разъ получена величина ея для одного какого-либо превращенія, она остается такой же и при всѣхъ другихъ возможныхъ превращеніяхъ. И Гельмгольцъ приводитъ различныя роды такихъ превращеній, которыя могутъ служить для опредѣленія свободной энергіи, и, въ особенности, превращенія, основанныя на процессахъ образованія паровъ и перехода въ жидкое состояніе, и приходитъ также къ доказательству того, что превращеніе въ энергію электрическую даетъ надежное средство для измѣренія свободной

¹⁾ Было это сдѣлано въ 1892 году, когда я издалъ нѣмецкій переводъ ея. Какой рѣдкостью и какъ мало доступенъ былъ оригиналъ, доказываетъ тотъ фактъ, что въ теченіе долгаго времени англійскіе товарищи по специальности, желая познакомиться съ Гиббсомъ, вынуждены были пользоваться этимъ нѣмецкимъ изданіемъ, несмотря на то, что оригиналъ, само собой разумѣется, былъ написанъ по англійски: такъ трудно было достать этотъ оригиналъ.

энергіи. Такъ, между прочимъ, и электродвижущая сила не можетъ служить мѣриломъ всей энергіи соотвѣтствующей реакціи, какъ онъ принималъ до сихъ поръ, а она есть лишь мѣра ея свободной энергіи. Эта послѣдняя вовсе не должна быть меньше всей энергіи, а при извѣстныхъ условіяхъ она можетъ быть и равна ей (при чисто механическихъ процессахъ) и даже больше ея; этимъ объясняются тѣ случаи, когда элементъ работаетъ съ поглощеніемъ теплоты изъ окружающей среды.

Математическая формулировка этихъ воззрѣній, на основаніи законовъ энергіи, даетъ тотъ результатъ, что свободная энергія самымъ тѣснымъ образомъ связана съ вліяніемъ температуры на соотвѣтствующій процессъ и въ концѣ концовъ приводитъ къ той же формулѣ насчетъ связи между развитіемъ теплоты и электродвижущей силой и измѣненіями температуры, къ которой пришелъ Вилларъ Гиббсъ своимъ путемъ.

Въ результатѣ всѣхъ этихъ изслѣдованій мы имѣемъ слѣдующую картину электродвижущей силы гальваническаго элемента. При температурѣ абсолютнаго нуля т. е. при -273° , остается правильнымъ старое уравненіе Томсона и Гельмгольца. Ибо такъ какъ второй членъ, выражающій вліяніе температуры, пропорціоналенъ абсолютной температурѣ, то онъ равенъ нулю, когда эта послѣдняя равна нулю, т. е. при -273° . Съ повышеніемъ температуры присоединяется и этотъ зависящій отъ нея членъ формулы, въ результатѣ чего въ общемъ электродвижущая сила становится меньше. Если это измѣненіе сохраняетъ свое направленіе и съ дальнѣйшимъ повышеніемъ температуры, то долженъ быть пунктъ, гдѣ электродвижущая сила становится равной нулю, а за этимъ пунктомъ электроды мѣняють свои знаки; реакція становится обратной, и анодъ превращается въ катодъ и обратно. За этимъ пунктомъ

электродвижущая сила, естественно, должна нарастать съ повышеніемъ температуры, и при очень высокой температурѣ она, соотвѣтственно вліянію этого второго члена, существеннымъ образомъ зависитъ отъ температуры. Однако, это только самыя общія очертанія явленія, подробное же экспериментальное изслѣдованіе его остается въ значительной степени дѣломъ будущаго.

Глава седьмая.

Начатки технической электрохимии.

Открытія Гальвани и Вольты вовсе не познакомили насъ съ новымъ родомъ энергіи. Вѣдь, когда Вольтъ доказалъ, что гальваническія явленія суть явленія электрическія, эти послѣднія были достаточно уже извѣстны въ видѣ электричества отъ тренія. Но здѣсь все же была особая форма проявленія этого рода энергіи, такъ что, между прочимъ, было необходимо, чтобы Фарадей въ специальномъ изслѣдованіи (см. стр. 34) доказалъ, что гальваническое электричество по существу своему тождественно съ электричествомъ отъ тренія. Онъ это доказалъ, показавъ, что оба они могутъ быть измѣрены одинаковымъ образомъ, вызываютъ одинаковыя дѣйствія и обнаруживаютъ одни и тѣ же свойства, если основныя величины ихъ имѣютъ равныя измѣренія.

Эти основныя величины суть количество электричества и напряженіе.

Къ основной величинѣ въ этой области, именно къ электрической энергіи эти двѣ величины находятся въ простомъ отношеніи: произведеніе ихъ образуетъ электрическую энергію. Это означаетъ, что изъ одного и того же количества работы, если превратить ее сполна въ энергію электрическую, можно получить или небольшое количество электричества, но высокаго напряженія (такъ оно бываетъ въ случаѣ электриче-

скихъ машинъ и электричества, получаемого треніемъ) или большое количество электричества, но слабаго напряженія (такъ оно бываетъ въ случаѣ гальваническаго элемента). Въ теченіе долгаго времени не было удобныхъ средствъ для установленія промежуточныхъ переходныхъ областей, и только поэтому объ соприкасающіяся области разсматривались въ учебникахъ, какъ области почти совершенно отдѣльныя и независимыя другъ отъ друга. Въ упомянутыхъ уже выше изслѣдованіяхъ Фарадей доказывалъ, что двѣ проволоки, напимѣръ, въ $\frac{1}{18}$ дюйма толщины, одна изъ цинка и другая изъ платины, будучи погружены на $\frac{5}{8}$ дюйма глубины въ теченіе $\frac{8}{150}$ минуты въ очень слабый растворъ сѣрной кислоты, полученный разведеніемъ одной капли концентрированной кислоты въ 4 унціяхъ воды, даютъ столько же электричества, сколько тридцать оборотовъ большой, хорошо работающей электрической машины. Но здѣсь опредѣленно говорится о количествѣ электричества, но не объ электрической энергіи. Эта же послѣдняя во второмъ случаѣ должна быть значительно больше, потому что напряженіе электричества отъ тренія во много тысячъ разъ больше напряженія элемента изъ цинка и платины.

Отношеніе между этими двумя факторами совершенно схоже съ отношеніемъ между количествомъ воды и высотой давленія. Работа равна произведенію изъ обѣихъ величинъ: можно, слѣдовательно, получить одну и ту же работу изъ небольшого количества воды, падающей съ значительной высоты, или изъ большого количества воды, падающей съ небольшою высотой. Первый случай напоминаетъ условія, существующія въ случаѣ электричества отъ тренія, а второй—условія въ случаѣ гальваническаго элемента.

Но сначала количества работы не были значительны ни въ одной, ни въ другой формѣ. Техническое при

мѣненіе было возможно поэтому только на основаніи особыхъ свойствъ этой энергіи, которыя въ случаѣ другихъ родовъ энергіи не наблюдаются. Самымъ важнымъ изъ этихъ свойствъ является то свойство, что она можетъ быть пространственно ограничена при посредствѣ опредѣленныхъ веществъ, проводниковъ электричества. Объясняется это исключительно тѣмъ обстоятельствомъ, что воздухъ случайно не проводникъ; вслѣдствіе этого въ образованіяхъ, ограниченныхъ воздухомъ, возможно и ограниченіе электрической энергіи. Другими словами, воздухъ образуетъ для этой энергіи какъ бы сосудъ, какъ стальная стеклянка образуетъ сосудъ для сжатого кислорода или водорода, который въ этой формѣ изолируется, сохраняется и пересылается. Огромное преимущество, которое имѣется здѣсь, заключается въ томъ, что сосудъ не надо вовсе готовить, а онъ самъ какъ бы образуется, какъ только вы вводите въ воздухъ проводникъ электричества. Этотъ проводникъ образуетъ тогда какъ будто внутренность „электрическаго сосуда“, стѣнки котораго составляетъ воздухъ, и эти стѣнки въ такой же мѣрѣ противодѣйствуютъ утечкѣ электричества, какъ стальные стѣнки противодѣйствуютъ утечкѣ замкнутыхъ въ нихъ газовъ.

Другое, не менѣе важное свойство заключается въ томъ, что электрическая энергія практически распространяется въ проводникѣ безъ затраты времени (въ дѣйствительности со скоростью, приближающейся къ скорости распространения свѣта). Такимъ образомъ это именно форма энергіи, побѣдившая пространство, ибо она можетъ облетѣть земной шаръ въ болѣе короткое время, чѣмъ Аріэль. Этимъ и объясняется тотъ фактъ, что при техническихъ примѣненіяхъ было раньше всего обращено вниманіе именно на эту сторону.

И дѣйствительно, уже въ эпоху, когда было извѣстно только электричество отъ тренія, мы видимъ попытки построить электрической телеграфъ. Здѣсь не мѣсто рассказывать о такихъ древнѣйшихъ попыткахъ, ибо онѣ ничего общаго еще не имѣютъ съ электрохиміей. Упомянемъ только, что еще въ 1746 году лейпцигскій профессоръ Винклеръ доказалъ, что можно вводить въ цѣпь электрическаго разряда на любыя разстоянія воду или землю, не ослабляя существенно процесса. Между двумя станціями, слѣдовательно, между которыми хотятъ устроить телеграфъ, необходимо ввести только одну проволоку, такъ какъ необходимый обратный проводъ, замыкающій цѣпь, можетъ быть полученъ соединеніемъ съ землей на обѣихъ станціяхъ.

Что сказанное относится и къ дѣйствию вольтова столба, доказалъ въ превосходной работѣ F. Basse въ Гамельнѣ въ 1803 году. Доказательствами того, что электрический токъ прошелъ по проволокамъ, служили, во-первыхъ, искры у введенныхъ въ цѣпь металлическихъ пластинокъ, обязанныя своимъ происхожденіемъ нагреванію и сгоранію подъ дѣйствіемъ тока, во-вторыхъ, газъ, выдѣлявшійся изъ введенной въ цѣпь воды, и въ-третьихъ, явленія физиологическія (ударъ, свѣтовое раздраженіе) у введеннаго въ цѣпь наблюдателя. Автору удалось убѣдиться въ томъ, что при проволокахъ въ 4.000 футовъ длиной дѣйствія эти вовсе не задерживались, и они сохранялись также, когда онъ вводилъ въ цѣпь тока 3.000 футовъ земли и воды (покрытый влагой лугъ и насыпь рядомъ съ нимъ).

Basse указываетъ на весьма важные выводы, вытекающіе изъ этого факта, но, къ удивленію, совершенно не указываетъ на возможное примѣненіе его для моментальныхъ дѣйствій на разстояніи. Того же указанія нѣтъ и въ работѣ позднѣйшаго происхожденія, именно въ работѣ берлинскаго физика Эрмана, въ которой

подтверждались всѣ результаты, полученные его предшественникомъ. Наконецъ, мысль эта пришла нѣсколько позже практическому врачу Самуэлю Томасу Земерингу и именно на основаніи одной физиологической аналогіи.

Со времени опыта Гальвани съ лягушкой нервы были извѣстны, какъ проводники электричества. Было извѣстно, что стоитъ только вызвать раздраженіе въ какомъ-либо мѣстѣ нерва, чтобы соединенныя съ нимъ мышцы стали сокращаться. Мы видѣли уже, какъ аналогія между распространеніемъ электричества и распространеніемъ раздраженія по нерву навела Гальвани на мысль, что явленія эти тождественны. Эта мысль его сохранялась съ тѣхъ поръ очень долго, да и въ настоящее время находятъ еще немало сторонниковъ, несмотря на то, что Гельмгольцъ успѣлъ уже доказать, что скорость распространенія раздраженія по нерву весьма и весьма уступаетъ огромной скорости распространенія электричества по проволокамъ, что она не больше 30—60 метровъ въ секунду. И вотъ Земерингу пришло на мысль, что какъ нервъ проводитъ сообщеніе отъ глаза къ мозгу и отъ мозга къ мышцамъ, такъ можно передавать электрическимъ путемъ и сообщеніе, поскольку хватаетъ проволоки. Необходимо только тѣмъ или другимъ путемъ доказать присутствіе въ этомъ случаѣ электрическаго процесса. Самымъ чувствительнымъ аппаратомъ для этого былъ бы препаратъ лягушки, ибо этотъ послѣдній реагируетъ на весьма слабые еще токи, но онъ имѣетъ и извѣстный недостатокъ: онъ слишкомъ быстро измѣняется. И Земерингу пришло на мысль вмѣсто него воспользоваться процессомъ разложенія воды. Были проведены отъ одной станціи къ другой рядомъ 30 проволокъ. Концы ихъ были соединены, съ одной стороны, съ контактами, куда былъ проведенъ токъ гальваниче-

скаго столба, а съ другой стороны, съ остріями золотыхъ проволокъ которыя всѣ были укрѣплены въ одномъ общемъ ваннѣ съ подкисленной водой. Каждая проволока была съ обѣихъ сторонъ обозначена буквой или одной изъ цифръ отъ 0 до 9. Если хотѣли, напримеръ, протелеграфировать слово *Volta*, то прежде всего соединяли гальваническую цѣпь съ буквами *v* и *o* такъ, чтобы первая отмѣчалась выдѣленіемъ кислорода, а вторая—выдѣленіемъ водорода (что нетрудно было различить по формѣ пузырей и количеству газа). Затѣмъ подобнымъ же образомъ телеграфировали обѣ буквы *i* и *t* и, наконецъ, букву *a*.

Земерингу пришла въ голову его идея лѣтомъ 1809 года. Въ его дневникѣ, который онъ впоследствии обнародовалъ, отражается все волненіе изобрѣтателя со всѣми надеждами и разочарованіями, когда возникали или побуждались тѣ или другія техническія затрудненія. Вѣдь, съ изобрѣтеніемъ дѣло происходитъ, какъ съ цѣпью: она не годна, пока не крѣпко каждое звено, и величайшія преимущества тѣхъ или другихъ звеньевъ оказываются недостаточными, чтобы сдѣлать цѣпь пригодной, пока хотя бы одно изъ нихъ неудовлетворительно. Такъ, въ данномъ случаѣ представляла величайшее затрудненіе изоляція проволокъ; сначала для этого воспользовались сургучемъ и только впоследствии пришли къ мысли обертывать ихъ шелкомъ. Вы получите представленіе объ этомъ затрудненіи, если вспомните тотъ сложный аппаратъ машинъ, который требуется въ настоящее время для приготовления электрическаго кабеля. Чтобы понять это, достаточно только краткаго указанія на то, что тѣ болѣе старыя попытки съ электричествомъ отъ тренія, о которыхъ мы упоминали выше, только потому не могли увѣнчаться успѣхомъ, что изоляція столь высокихъ напряженій этой единственной тогда извѣстной формы пред-

ставляла въ техническомъ отношеніи еще большія затрудненія и въ XVII вѣкѣ, при его уровнѣ знаній, была дѣломъ совершенно недостижимымъ.

Земмерингъ, однако, сумѣлъ преодолѣть всѣ затрудненія и построить аппаратъ, который и въ настоящее время можетъ еще сослужить службу (сохраняется онъ въ нѣмецкомъ музеѣ въ Мюнхенѣ). Ему, однако, не удалось добиться технического примѣненія его. Даже Наполеонъ I, ясно понявшій въ своихъ военныхъ походахъ необходимость и важность быстрой передачи извѣстій и, кромѣ того, обнаружившій живѣйшій интересъ къ гальванизму, даже и онъ не оказался достаточно дальнзоркимъ, чтобы понять все огромное значеніе этого изобрѣтенія. „C'est une idée germanique!“ („Это германская идея!“)—вотъ все, что онъ сумѣлъ сказать, когда ему показали аппаратъ въ дѣйствиі. Это изреченіе заслуживаетъ быть сохраненнымъ въ мировой исторіи.

Дальнѣйшая исторія электрическаго телеграфа насъ здѣсь занимать не можетъ, ибо съ дальнѣйшимъ его развитіемъ электрохимическій путь былъ оставленъ и замѣненъ путемъ электромагнитнымъ. Дѣйствіе тока на подвижную магнитную стрѣлку,—явленіе, открытое въ 1820 году Эрстедтомъ,—представляетъ собой процессъ, въ такой мѣрѣ болѣе быстрый и болѣе чувствительный, чѣмъ процессъ выдѣленія газовъ электролитическимъ путемъ, что основанный на этомъ процессѣ телеграфъ не могъ не вытѣснить прежній. Первый такой телеграфъ былъ построенъ Гауссомъ и Вильгельмомъ Веберомъ въ Геттингенѣ. Практическое примѣненіе и общеизвѣстность телеграфъ, правда, получилъ лишь тогда, когда аппаратъ, снабженный магнитной иглой, подзорной трубой и шкалой,—аппаратъ, который долженъ былъ обслуживаться физикомъ,—уступилъ свое мѣсто простому электромагнитному

отмѣтчику Морза: новый поучительный примѣръ того, въ какой мѣрѣ техническое осуществленіе какой-нибудь идеи зависитъ отъ множества различныхъ факторовъ.

Такимъ образомъ, изобрѣтеніе элемента Даниэля было самымъ существеннымъ вкладомъ электрохиміи въ развитіе электрическаго телеграфа, ибо этотъ аппаратъ, вслѣдствіе теоретическаго своего совершенства, оказался и технически самымъ лучшимъ аппаратомъ для полученія постоянныхъ токовъ при самомъ простомъ устройствѣ. Съ этимъ же аппаратомъ, какъ и съ нѣкоторыми другими, сходными съ нимъ, были связаны затѣмъ и дальнѣйшія техническія попытки.

Мы упоминали уже выше (см. стр. 122), что, независимо отъ Даниэля, постоянный элементъ былъ изобрѣтенъ и Якоби, въ то время академикомъ въ Петербургѣ. Якоби, подобно Джоулю, поставилъ себѣ цѣлью воспользоваться электрическимъ токомъ для полученія двигателей и для этого построилъ свой элементъ возможно болѣе экономно, для чего довелъ внутреннее его сопротивленіе до весьма малой величины. И ему, дѣйствительно, удалось построить магнитно-электрический двигатель, дѣйствовавшій такъ хорошо, что, помѣстивъ его въ лодку, онъ сталъ развѣзжать на ней по Невѣ. При этомъ, однако, оказалось, что стоимость такого передвиженія въ значительной мѣрѣ превосходитъ стоимость передвиженія при помощи пара, и планъ его былъ оставленъ, какъ неэкономный.

Одновременно съ этимъ, онъ сдѣлалъ еще и другое изобрѣтеніе, для чего, правда, никакого конструктивнаго генія и даже вообще особой дѣятельности не требовалось, а нужны были только глаза, умѣющіе видѣть, и свободная техническая фантазія. Дѣло въ томъ, что процессъ изобрѣтенія можетъ происходить двояко. Вы можете сначала поставить себѣ опредѣленную цѣль

и затѣмъ задаться вопросомъ: какими извѣстными мнѣ явленіями, процессами или вещами я могу воспользоваться, чтобы достичь этой цѣли? Или же вы видите новое или непривычное явленіе (а иногда даже и привычное явленіе, но со свѣжими глазами) и задаетесь вопросомъ: для чего я могу это примѣнить? Въ данномъ случаѣ предъ нами процессъ второго рода.

Во время работы его элементовъ металлическая мѣдь выдѣлялась, какъ извѣстно, на катодѣ, а цинкъ на анодѣ. И вотъ Якоби замѣтилъ, что выдѣлившаяся мѣдь въ большинствѣ случаевъ можетъ быть отдѣлена отъ катода безъ особаго затрудненія, и что, осаждаясь, она самымъ точнымъ образомъ откладывается на всѣ неровности, углубленія и другія особенности поверхности, такъ что получается вполне точная обратная копія, или матрица катода. Якоби тотчасъ же понялъ, что передъ нимъ здѣсь особый способъ холодной отливки изъ мѣди, при помощи котораго можно съ даннаго образца получить точную копію изъ твердой мѣди, образецъ же долженъ при этомъ обладать однимъ только свойствомъ: онъ не долженъ растворяться въ холодномъ растворѣ сѣрнокислой мѣди.

Очень скоро онъ убѣдился, что достаточно покрыть поверхности любыхъ подобныхъ тѣлъ графитомъ, чтобы сдѣлать ихъ достаточными проводниками. Такъ была изобрѣтена гальванопластика.

Въ письмѣ своемъ къ Фарадею отъ 1839 года Якоби сообщаетъ о своихъ опытахъ съ лодкой, приведенной въ движеніе электрическимъ токомъ, и выражаетъ надежду, что ему въ будущемъ году удастся устроить электромагнитный корабль съ двигателемъ въ 40—50 лошадиныхъ силъ. Тамъ же онъ рассказываетъ о примѣненіи гальванопластики для копированія мѣдныхъ клише; здѣсь сначала готовится негативъ, съ котораго потомъ получается позитивъ. Методъ этотъ

впослѣдствіи былъ, какъ извѣстно, улучшенъ тѣмъ, что первый негативъ стали готовить изъ гуттаперчи или легкоплавкаго металла и только клише—гальванопластическимъ способомъ. Особый интересъ представляетъ другое примѣненіе, о которомъ я позволю себѣ рассказать собственными словами Якоби: „Я буду имѣть честь въ скорости послать вамъ нѣкоторый рельефъ изъ мѣди, оригиналъ котораго сдѣланъ изъ пластическаго вещества, поддающагося въ рукахъ художника всѣмъ нужнымъ ему измѣненіямъ. При помощи этого метода сохраняются всѣ мельчайшія особенности, чѣмъ такъ красивы художественныя произведенія этого рода, и при отливкѣ обыкновенно теряющіяся только потому, что этимъ послѣднимъ процессомъ онѣ воспроизведены быть не могутъ. Художники должны быть весьма благодарны гальванизму, открывшему имъ этотъ новый путь“. Уже въ этихъ словахъ Якоби съ величайшей точностью охарактеризованы значеніе и художественное преимущество его метода, и тѣмъ не менѣе, именно въ кругахъ историковъ искусства, которые должны считаться специалистами въ данномъ вопросѣ, не исчезло и до настоящаго времени какое-то предубѣжденіе противъ этой идеальной техники. Объясняется это тѣмъ, что греки и римляне ею не пользовались, и на этомъ основаніи она будто бы противорѣчитъ „художественной природѣ матеріала“. Здѣсь передъ нами одно изъ многочисленныхъ роковыхъ послѣдствій того факта, что теорія искусства преподается въ университетѣ,—въ особенности въ Германіи,—преимущественно въ антикварномъ духѣ вмѣсто того, чтобы дать ей техническое обоснованіе, какъ одной изъ радостей жизни.

Къ гальванопластикѣ очень скоро присоединилась и гальванизація, способъ покрывать проводящія электричество поверхности благородными металлами, въ

особенности золотомъ и серебромъ. Но техническое развитіе этихъ изобрѣтеній въ крупныя производства въ современномъ стилѣ было еще невозможно до изобрѣтенія достаточно богатыхъ источниковъ электричества, сдѣлавшихъ вмѣстѣ съ тѣмъ возможнымъ и экономически цѣлесообразное производство. Проблема эта была рѣшена лишь съ изобрѣтеніемъ принципа динамо машинъ Сименсомъ и Вильде. Это послѣднее изобрѣтеніе не связано, однако, съ принципиальнымъ измѣненіемъ основъ дѣла, а представляетъ собой только дальнѣйшее развитіе его съ технической и коммерческой стороны, и потому дальнѣйшая его исторія насъ здѣсь занимать не можетъ.

Сначала были сдѣланы попытки извлечь большія преимущества, чѣмъ это можетъ дать элементъ Даниэля, измѣнивъ химическую реакцію. Самымъ важнымъ изъ этихъ улучшенныхъ элементовъ является элементъ Грове; въ теченіе двухъ-трехъ десятилѣтій имъ пользовались въ нѣсколько измѣненной формѣ всегда, когда нужны были сильные и продолжительные токи. Измѣненіе сравнительно съ элементомъ Даниэля заключается въ томъ, что мѣдный катодъ въ растворѣ сѣрнокислой мѣди былъ замѣненъ платиновымъ катодомъ въ азотной кислотѣ. Существенное преимущество этого элемента заключается въ томъ, что электродвижущая сила возрастаетъ почти вдвое. Вмѣстѣ съ этимъ уменьшается и внутреннее сопротивление, вслѣдствіе лучшей электропроводности азотной кислоты. Химическій процессъ слѣдовательно, заключается въ окисленіи цинка дѣйствіемъ крѣпкой азотной кислоты. При непосредственномъ сочетаніи составныхъ частей элемента реакція бываетъ до того сильна, что ее едва удастся остановить при раздѣленіи дѣйствующихъ другъ на друга вещей, какъ этого требуетъ теорія элемента; она дѣйствуетъ въ полномъ порядкѣ и регу-

лярно, и сила реакціи выражается только въ необычайно высокой электродвижущей силѣ.

Элементъ Грове получилъ столь большое значеніе не только потому, что здѣсь впервые было примѣнено окисляющее средство у катода, чѣмъ было введено въ устройство электрохимическихъ аппаратовъ принципиально новое начало, но и благодаря небольшой своей величинѣ при сильномъ и постоянномъ дѣйствіи. Научная пресса того времени (изобрѣтеніе произошло въ 1840 году) переполнена похвалами превосходнымъ свойствамъ этого элемента. Находилъ онъ, однако, примѣненіе только для научныхъ цѣлей, потому что дорого стоящій платиновый катодъ сильно удорожалъ цѣну его. Чтобы получить болѣе дешевый элементъ, Куперъ въ Лондонѣ ввелъ катоды изъ ретортнаго угля. Катоды эти оказались, конечно, нѣсколько больше и менѣе удобными, но зато и гораздо дешевле. Этотъ ретортный уголь состоялъ изъ очень чистаго угля, осаждавагося въ газовыхъ фабрикахъ на передней части реторта, тамъ, гдѣ содержавшій уголь газъ приходилъ въ соприкосновеніе съ наиболѣе нагрѣтыми частями стѣнокъ реторта и выдѣлялъ часть углерода. Послѣдній, подъ дѣйствіемъ высокой температуры, образовывалъ компактную массу, хорошо проводящую электричество.

Независимо отъ него, построилъ свою батарею на тѣхъ же основаніяхъ Бунзенъ. Одновременно съ этимъ онъ далъ способъ готовить хорошо проводящій электричество уголь нагрѣваніемъ до очень высокой температуры смѣси кокса и каменноугольнаго дегтя. Этотъ методъ скорѣ нашелъ широкое примѣненіе для приготовленія электродовъ желаемой формы.

Бунзенъ пользовался своимъ элементомъ для различныхъ цѣлей. Сначала онъ воспользовался имъ для полученія электрической дуги между двумя углями.

Этот превосходный способ и по настоящее время дает самый яркий свѣтъ, который только можно получить искусственнымъ путемъ. Былъ онъ открытъ еще Дэви, когда тотъ наблюдалъ разряженіе большой батареи, для устройства которой ему дали средства Королевское Общество послѣ открытія имъ щелочныхъ металловъ. И это открытіе даетъ намъ примѣръ того, какое значеніе имѣетъ количественное усиленіе средствъ (см. стр. 38), ибо дуга совсѣмъ не получается, пока напряженіе не достигаетъ опредѣленной величины (около 40 вольтъ въ современныхъ единицахъ измѣренія), а токъ—опредѣленной силы. Но Дэви въ свое время имѣлъ въ своемъ распоряженіи только непостоянные элементы, и потому дуга его была блестящимъ явленіемъ, но весьма рѣдкимъ и очень быстро исчезающимъ. Затѣмъ, въ теченіе нѣсколькихъ десятилѣтій батарея Бунзена была единственнымъ источникомъ для полученія дуги, свѣтящейся нѣсколько часовъ, и только магнито-электрическія машины, а еще позднѣе динамо-машины дали всѣ условія для техническаго осуществленія проблемы.

Затѣмъ Бунзенъ воспользовался своимъ элементомъ для электролитическаго отдѣленія различныхъ легкихъ металловъ, въ особенности магнія и алюминія. Съ обоими этими металлами не сумѣлъ справиться Дэви, работавшій съ кислородными ихъ соединеніями. Бунзену очень легко удалось разложить галоидныя ихъ соединенія, и онъ показалъ, съ какимъ яркимъ свѣтомъ сгораетъ магній, послѣ чего этотъ металлъ въ теченіе долгаго времени употреблялся почти исключительно для этой цѣли. И эта область была технически завоевана лишь въ послѣдствіи, съ изобрѣтеніемъ динамо-машины.

Общее направленіе, которое получило развитіе всѣхъ этихъ техническихъ зачатковъ, объясняется одной об-

щей причиной, именно той, что стоимость электрической энергіи изъ цинка и другихъ необходимыхъ веществъ значительно превышала стоимость энергіи изъ другихъ источниковъ, въ особенности энергіи тепловой, выдѣляемой сожиганіемъ каменнаго угля, и получаемой изъ нея, — хотя и съ большими потерями, — механической энергіи. Вѣдь, для полученія цинка тоже должно быть затрачено эквивалентное количество угля, не говоря уже о томъ, еще большемъ количествѣ угля, необходимомъ для нагрѣванія руды до потребной, весьма высокой температуры. Кромѣ того, въ цѣну металла входитъ еще стоимость энергіи, затрачиваемой для добыванія его руды. Все это вмѣстѣ и, кромѣ того, еще затраты на приготовленіе и работу элементовъ въ значительной мѣрѣ превосходили цѣнность получаемой электрической энергіей. Но элементы эти не были самоцѣлью, а ими пользовались лишь для полученія другихъ формъ энергіи (механической на телеграфѣ, химической при гальванопластикѣ и т. д.). Вслѣдствіе этого вопросъ о томъ, экономно ли техническое производство при помощи электрической энергіи, рѣшался въ зависимости отъ стоимости другихъ формъ энергіи, получаемыхъ изъ другихъ источниковъ. Поэтому, въ періодъ до изобрѣтенія динамомашины, дающихъ дешевую электрическую энергію, могли развиваться только такія производства, въ которыхъ не требовалась передача большихъ количествъ энергіи, а важную роль играли другія свойства электрической энергіи, какъ на примѣръ, въ телеграфномъ дѣлѣ. Вотъ почему и по сей день сохранилась рѣзкая грань между обѣими областями, вполне правильно называемыми техникой слабыхъ токовъ и техникой сильныхъ токовъ.

Наконецъ, намъ остается еще упомянуть о зарожденіи одной области прикладной электрохиміи, широкое развитіе которой тоже досталось на долю лишь новѣй-

шаго времени. Мы имѣемъ въ виду электроанализъ. Здѣсь передъ нами опять одна специальная особенность электрическихъ процессовъ. При обыкновенномъ вѣсовомъ анализѣ вы осаждаете, какъ извѣстно, изъ испытуемой жидкости нужное вамъ вещество или одно изъ его соединеній въ видѣ твердаго осадка и затѣмъ фильтраціей, при помощи центрифуги или другого подходящаго способа механически отдѣляете этотъ остатокъ. Электролизъ же представляетъ то, чрезвычайно цѣнное, преимущество, что онъ собираетъ опредѣленные вещества на точно опредѣленныхъ мѣстахъ, именно у электродовъ, гдѣ онъ и выдѣляетъ ихъ въ соответствующей формѣ. Такъ, лишь только было замѣчено, съ какой легкостью выдѣляется мѣдь въ элементъ Даниэля, сейчасъ же явилась мысль опредѣлять присутствіе мѣди въ какомъ нибудь растворѣ дѣйствіемъ электрическаго тока, заставляя ее выдѣляться на катодѣ. Было же въ очень раннія стадіи развитія аналитической химіи выдѣленіе металлической мѣди на погруженный въ растворъ кусокъ желѣза излюбленной качественной реакціей на соли этого металла.

Первое специальное примѣненіе электролиза для цѣлей аналитическихъ мы находимъ у Беккереля. Исходилъ онъ изъ того факта, что свинецъ и марганецъ,—въ противоположность всѣмъ другимъ металламъ,—могутъ быть выдѣлены на анодѣ и именно въ видѣ перекиси. Чтобы достичь этого, нужно взять уксуснокислыя соли этихъ металловъ, что, впрочемъ, не трудно, если прибавить къ раствору какую-нибудь щелочную соль уксусной кислоты. Одновременно съ этимъ были произведены нѣкоторые количественные опыты для опредѣленія времени, необходимаго для такихъ выдѣленій, и оказалось, что для этого нужно довольно много времени, болѣе 24 часовъ, и довольно сильный токъ. Все это въ то время (1830 г.) было не такъ

легко достижимо, чѣмъ и объясняется тотъ фактъ, что методъ этотъ не привился еще въ то время.

Практическое примѣненіе нашелъ въ то время только тотъ фактъ, что іоны изъ всей жидкости относятся къ электродамъ. Это оказалось важнымъ въ тѣхъ случаяхъ, когда небольшія количества металловъ находились внутри большихъ массъ веществъ, съ трудомъ поддававшихся обработкѣ, въ особенности при изслѣдованіи органическихъ смѣсей,—напр., кушанія, содержимое желудка, животныя ткани,—на присутствіе въ нихъ ядовъ. Впервые такіе опыты были произведены въ 1840 году Гольтье де Клобри, горячо рекомендовавшимъ этотъ методъ; употреблялся онъ неоднократно и развивался и въ послѣдствіи.

Дѣйствительныя количественныя работы по электроанализу мы находимъ лишь у Олькота Гиббса (не смѣшивать съ Вилларомъ Гиббсомъ), обнаружившаго основныя работы, относившіяся къ цѣлому ряду металловъ. Прежде всего онъ занялся, естественно, выдѣленіемъ мѣди. Вскорѣ послѣ этого Луковъ сообщилъ, что методъ этотъ регулярно примѣняется уже въ теченіе ряда лѣтъ на заводѣ Мансфельдскаго Общества, и сообщилъ самыя точныя правила его примѣненія.

Съ этого времени такой методъ получилъ быстрое развитіе, въ особенности послѣ того, какъ въ 1880—1881 г. г. Е. Смитъ въ Америкѣ и А. Классенъ въ Германіи посвятили себя исключительно рѣшенію этой проблемы. Сначала развитіе это шло чисто эмпирическимъ путемъ: разнообразно измѣняя опыты, старались получать такіе растворы, изъ которыхъ соответственные металлы выдѣлялись бы съ наибольшей легкостью и, въ особенности, въ наилучшей формѣ (въ видѣ гладкаго покрова). Только въ послѣднюю великую фазу въ развитіи научной электрохиміи были найдены

и въ этой области тѣ теоретическія основанія, съ точки зрѣнія которыхъ можно было обозрѣть и изучить, по меньшей мѣрѣ, главные ея факторы. Къ этимъ открытіямъ мы и перейдемъ теперь; ими характеризуется своя особая эпоха въ исторіи электрохиміи.

Глава восьмая.

Вантъ-Гоффъ и Аррениусъ.

Свѣтъ, брошенный открытіемъ Вильгельма Гитторфа (см. стр. 102) на процессъ, происходящій въ электролитахъ при прохожденіи электрическаго тока, освѣтилъ новыя области, до тѣхъ поръ совершенно неизвѣстныя. Можно было уже представлять себѣ, какъ, гонимые разностью потенціала вдоль проводника, катионы движутся въ одномъ направленіи и аніоны въ противоположномъ, сохраняя каждый собственную свою скорость, зависящую, естественно, отъ этой разности, но также и отъ природы іона, какъ подъ равнымъ давленіемъ различныя жидкости вытекаютъ съ различной скоростью.

Но почему катионы и аніоны вообще движутся въ противоположныхъ направленіяхъ? Вѣдь, они были связаны другъ съ другомъ, образуя одну соль, растворъ которой и служитъ проводникомъ тока. Гитторфу было ясно слѣдующее: электрическій токъ могутъ проводить только такія вещества, которыя въ состояніи распадаться на катионы и аніоны, т. е. вещества двоякаго состава. Такъ, онъ пришелъ къ тому общему взгляду, что понятія электролитъ и соль тождественны; слово „соль“ слѣдуетъ здѣсь, конечно, брать въ болѣе общемъ его смыслѣ, такъ, чтобы оно обнимало и кислоты (водородныя соли) и основанія (гидроксильныя соли).

Отсюда Гитторфъ сдѣлалъ, далѣе, тотъ выводъ, что лучшими проводниками тока должны быть такіе соли, которыя легче всего распадаются на свои катионы и анионы, ибо только на такихъ раздѣленіяхъ, согласно всѣмъ существующимъ въ химіи воззрѣніямъ, должно основываться распространеніе тока. Измѣряя время, которое требовалось для прохожденія извѣстнаго количества электричества черезъ его аппараты (для чего онъ, руководствуясь закономъ Фарадея, включалъ въ цѣпь тока электролитъ), онъ получалъ достаточно ясное представленіе объ электропроводности своихъ растворовъ. Оказалось, что лучшими проводниками являются именно тѣ соли, которыя считаются связанными сильнѣйшимъ средствомъ, тогда какъ другія соли, гораздо менѣе устойчивыя, оказывали току гораздо болѣе сильное сопротивленіе. Такъ, хлористый калий оказался наилучшимъ проводникомъ среди нейтральныхъ солей, несмотря на то, что Берцелиусъ помѣстилъ калий въ самомъ началѣ ряда положительныхъ металловъ, такъ что соединеніе его съ хлоромъ слѣдовало разсматривать, какъ самое постоянное изъ всѣхъ хлористыхъ солей. Съ другой стороны, оказалось практически невозможнымъ пропустить черезъ растворъ хлористой ртути токъ болѣе или менѣе замѣтной силы, между тѣмъ какъ это соединеніе далеко нельзя назвать весьма прочнымъ.

Такимъ образомъ, факты электролитической проводимости оказались въ рѣзкомъ противорѣчій съ общепринятыми воззрѣніями на составъ такихъ соединеній, какъ соли металловъ. Такъ какъ факты всегда и при всѣхъ условіяхъ сумѣютъ заставить считаться съ собой, то обязанностью теоріи было къ нимъ приспособиться.

Во всѣхъ такихъ случаяхъ необходимо заранѣе допустить, что подобнаго рода факты не единственны.

Ибо въ концѣ концовъ въ процессѣ развитія науки всегда такъ бываетъ: различные факты, касающіеся того или другого вещества или процесса, въ концѣ концовъ удается подвести подъ общія точки зрѣнія, доказать, что они взаимно обуславливаютъ другъ друга и, слѣдовательно, необходимы; въ этомъ и заключается „объясненіе“ этихъ фактовъ. То же самое было и здѣсь: разъ факты электролитической проводимости оказались въ противорѣчій съ общепринятой теоріей, то слѣдовало думать, что и другіе факты окажутся въ противорѣчій съ ней. На одно такое противорѣчіе указалъ еще въ 1839 году одинъ изъ наиболѣе гениальныхъ и безпристрастныхъ химиковъ Франціи начала XIX вѣка, Гэ й-Л ю с с а к ъ. Онъ доказалъ, что свойства, обнаруживаемыя смѣшанными солями при всевозможнаго рода реакціяхъ, противорѣчатъ общепринятымъ воззрѣніямъ. Составныя части солей, ихъ кислоты и основанія, какъ выразился тогда Гэ й-Л ю с с а к ъ, — ихъ іо ны, какъ мы выразимся въ настоящее время, — реагируютъ на всѣ воздѣйствія такъ, какъ будто онѣ никогда не были связаны съ опредѣленнымъ основаніемъ, или съ опредѣленной кислотой (или іономъ), а такъ, какъ будто всѣ возможныя соединенія не только существовали, но могли и возникнуть въ полномъ объемѣ во всякое, хотя бы самое короткое время. Гэ й-Л ю с с а к ъ провозглашаетъ, поэтому, принципъ „эквиполлярности“ („Aequipollenz“), согласно которому между солями постоянно происходитъ или, по меньшей мѣрѣ, возможенъ всякій обмѣнъ своими составными частями. Совершенно безразлично, съ какой составной частью соединена другая составная часть, ибо въ такой же мѣрѣ съ ней можетъ соединиться и всякая другая соответственная составная часть (т. е. вмѣсто одной кислоты всякая другая, вмѣсто одного основанія — всякое другое): растворъ получается такой, какъ будто

въ немъ существуетъ всякое возможное соединеніе. Важно только одно, а именно, чтобы была соблюдена нейтральность раствора или, выражаясь современнымъ языкомъ, чтобы аніоны были эквиваленты катионамъ.

Взгляды Гэй-Люссака не встрѣтили ни согласія, ни возраженія; они не обратили на себя вовсе вниманія. Не обратило также на себя вниманія сообщеніе, сдѣланное въ 1857 году Клаузіусомъ, знаменитымъ сооснователемъ термодинамики. Клаузіусъ исходилъ изъ нѣкоторыхъ общеизвѣстныхъ фактовъ электролитической проводимости. Было давно уже извѣстно, что черезъ электролиты могутъ проходить и самые слабые токи. Такъ, между прочимъ, физикъ Буффъ работалъ весьма слабыми токами при повѣркѣ закона Фарадея и нашелъ, что законъ подтверждается. И вотъ если бы токъ долженъ былъ сначала выдѣлить іоны изъ солей, то этого не могло бы быть, а процессъ долженъ былъ-бы происходить слѣдующимъ образомъ: сначала токъ долженъ былъ бы вовсе не проходить, пока не достигнетъ извѣстнаго напряженія, необходимаго для разложенія соли, а затѣмъ съ дальнѣйшимъ, самымъ малѣйшимъ повышеніемъ напряженія, долженъ былъ бы сейчасъ же появиться токъ значительной силы. Въмѣсто же того электролитическія жидкости слѣдуютъ вполне закону Ома, т. е. проводимость у нихъ всегда пропорціональна напряженію, безразлично, велико-ли это послѣднее, или мало.

Для объясненія этого явленія Клаузіусъ исходитъ изъ выработанной имъ кинетической теоріи вещества. Согласно этой теоріи, молекулы находятся въ постоянномъ и быстромъ движеніи, часто сталкиваясь между собой. При этомъ связь между составными частями временами нарушается, такъ что въ каждый данный моментъ имѣется на лицо извѣстное

количество свободныхъ частей молекулъ, или іоновъ. Эти іоны, будучи въ свободномъ состояніи, естественно могутъ двигаться въ направленіи паденія электрическаго потенциала, и именно они, слѣдовательно, вызываютъ электролитическую проводимость.

Противъ этого было выставлено,—правда, гораздо позже,—слѣдующее возраженіе. Столкновенія между молекулами соли должны происходить, очевидно, тѣмъ чаще, чѣмъ гуще онѣ расположены, т. е. чѣмъ болѣе концентрированъ растворъ. Отсюда слѣдуетъ, что концентрированные растворы должны лучше проводить электричество, чѣмъ слабые. Повидимому, это вполне соответствуетъ фактамъ. Но это относится къ специфической проводимости, т. е. къ проводимости равновеликихъ кубовъ различныхъ растворовъ. Въ случаѣ же концентрированныхъ растворовъ въ одномъ и томъ-же объемѣ содержится гораздо больше молекулъ соли и именно отъ этого зависитъ—по меньшей мѣрѣ, отчасти, лучшая проводимость.

Сравненіе оказывается правильнымъ, если устроить мысленно опытъ такъ, какъ это было описано на стр. 108, и между равноудаленными электродами имѣть всегда столько раствора, чтобы электричество проводилось всегда равнымъ количествомъ соли. Но въ этой эквивалентной проводимости растворовъ соли различной концентраціи наблюдается какъ разъ обратное тому, чего можно было ожидать: проводимость эта тѣмъ больше, чѣмъ слабѣе растворъ, а при безпредѣльномъ ослабленіи раствора эквивалентная проводимость приближается къ извѣстной предѣльной величинѣ. Многіе электролиты, именно нейтральныя соли достигаютъ своей предѣльной величины уже при растворахъ, въ которыхъ проводимость можетъ быть измѣрена еще съ полной точностью. Въ другихъ же электроли-

тахъ, къ которымъ относятся, въ особенности, многія кислоты и основанія, проводимость усиливается еще при наибольшихъ, поддающихся измѣренію, разжиженіяхъ растворовъ, такъ что опредѣленіе ея предѣльной величины,—хотя-бы приблизительное,—экспериментальнымъ путемъ невозможно.

Клаузіусъ совсѣмъ неповиненъ въ томъ, что онъ не принялъ въ соображеніе это возраженіе: описанные здѣсь факты въ его время не были еще извѣстны, такъ какъ они были установлены лишь многолѣтними работами Кольрауша въ 70-хъ и 80-хъ годахъ прошлаго столѣтія.

Къ тѣмъ-же результатамъ пришелъ одинъ молодой шведскій физикъ изъ Упсалы, сдѣлавшій свою докторскую работу подъ руководствомъ стокгольмскаго академика Эдлунда. То былъ Сванте Арреніусъ. Изъ Упсалы, гдѣ онъ получилъ образованіе, онъ перѣѣхалъ въ Стокгольмъ, потому что взгляды, къ которымъ онъ пришелъ, не согласовались съ взглядами его учителей.

Подобно Клаузіусу, Арреніусъ, исходилъ изъ той мысли, что проводящія электричество части соли чѣмъ-нибудь должны отличаться отъ частей ея, не проводящихъ электричества; первыя онъ назвалъ активной частью соли, а вторыя — пассивной ея частью. Описанные выше результаты онъ получилъ при помощи метода, совершенно отличнаго отъ метода Кольрауша. Получивъ эти результаты, онъ нашелъ, что отношеніе между электропроводностью эквивалентнаго раствора данной степени разжиженія и электропроводностью раствора той-же соли при безпредѣльномъ ея разжиженіи можетъ служить средствомъ для вычисленія активной части соли. Если эквивалентная электропроводность даннаго раствора составляла, напримѣръ, 0,8 электропроводности растворовъ, очень

разжиженныхъ (такъ что дальнѣйшее разжиженіе не усиливало болѣе электропроводности), то отсюда слѣдовало заключить, что въ активномъ состояніи находится 0,8, или 80% данной соли. Въ случаѣ же весьма слабаго раствора, когда дальнѣйшее разжиженіе не давало болѣе усиленія электропроводности, слѣдовало заключить, что активной стала вся соль.

Эта работа была обнародована въ 1884 году. Сначала кажется, что въ этомъ возрѣвѣніи не выражено ничего болѣе, кромѣ фактовъ, его породившихъ. Ибо назвать ли проводимость активностью, или нѣтъ, это въ концѣ концовъ споръ о словахъ, а не о дѣлѣ. Правда, здѣсь есть еще болѣе опредѣленный взглядъ на электропроводность, такъ какъ Арреніусъ приписывалъ измѣненію опредѣленному обстоятельству, именно, измѣненію соли, а не измѣненію растворителя, напри- мѣръ. Но покуда эти разсужденія ограничиваются только этимъ кругомъ фактовъ, они не даютъ ничего болѣе, кромѣ удобнаго, правда, но все же не подтвержденнаго еще опредѣленными доказательствами описанія дѣйствительныхъ фактовъ.

Но все дѣло въ основѣ своей мѣнялось, благодаря второй части работы Арреніуса. Въ основѣ этой работы лежала мысль, что активность, вызывая электропроводность, вызываетъ также и химическія реакціи т. е., другими словами, что электропроводность есть мѣра химической активности.

Это положеніе оказалось плодотворнымъ въ двоякомъ отношеніи. Во-первыхъ, Арреніусъ развилъ изъ него разработанную теорію химическаго равновѣсія, которая, какъ впоследствии оказалось, вполне совпадала съ правильной теоріей, выдвинутой еще раньше Гульдбергомъ и Вааге, съ одной стороны, и Вилларомъ Гиббсомъ,—съ другой, и тѣмъ са-

мымъ доказала также и полезность этого новаго исходнаго пункта. Во-вторыхъ же, Аррениусъ сослался на немногочисленные тогда измѣренія, въ которыхъ химическая активность (измѣренная соотвѣтствующей скоростью сравнимыхъ процессовъ) могла быть сравнена съ электрической проводимостью и доказалъ пропорциональность обоихъ свойствъ, какъ будто бы другъ отъ друга совершенно независимыхъ. Отсюда слѣдовало, что измѣреніемъ электрической проводимости (оно можетъ быть выполнено съ величайшей точностью въ теченіе нѣсколькихъ минутъ) можно опредѣлить величину, измѣреніе которой нѣсколько десятилѣтій до этого одинъ превосходный химикъ призналъ дѣломъ невозможнымъ. Правда, за этотъ періодъ времени успѣли убѣдиться въ осуществимости такого измѣренія, но все же оно не переставало считаться одной изъ самыхъ неразработанныхъ областей науки.

Этимъ была доказана плодотворность различія между активной и неактивной частью электролита. Еще болѣе подтвердилъ положеніе Аррениуса Вильгельмъ Оствальдъ, который, опредѣливъ въ цѣломъ рядѣ изслѣдованій нѣсколько дюжинъ коэффициентовъ активности, вскорѣ приступилъ къ соотвѣтствующимъ измѣреніямъ электрической проводимости. Оказалось, что во всемъ его матеріалѣ нельзя было найти ни одного исключенія изъ этого положенія и ни одного противорѣчія ему.

Оставалось отвѣтить еще на одинъ основной вопросъ: каковъ характеръ этого различія между активностью и неактивностью? Что различіе существуетъ, и что отношеніе между обоими состояніями измѣняется отъ случая къ случаю, упомянутыя выше изслѣдованія доказали съ полной несомнѣнностью. Было бы уже значительнымъ движеніемъ впередъ въ развитіи науки, если бы тѣмъ дѣло и ограничилось.

Но тогда вопросъ не былъ бы рѣшенъ вполне удовлетворительнымъ образомъ, а кое-что оставалось бы еще безъ объясненія. Усиливалось это чувство неясности еще слѣдующимъ обстоятельствомъ: намѣченное Аррениусомъ объясненіе касательно поглощенія воды амміакомъ, при чемъ этотъ послѣдній переходитъ въ водную окись аммонія, для даннаго случая представлялось, пожалуй, пріемлемымъ, но къ другимъ электролитамъ не могло быть примѣнено безъ особой натяжки. Далѣе, это опять-таки было объясненіемъ *ad hoc*, не обнаруживавшимъ никакихъ дальнѣйшихъ экспериментальныхъ связей.

Помогла дѣлу одна счастливая случайность, чрезвычайно интересная: въ подобномъ же затруднительномъ положеніи оказалась и другая молодая и многообѣщающая теорія. Соединеніе этихъ двухъ теорій въ одну могло помочь обѣимъ. Отъ этого соединенія не страдала ни одна изъ нихъ, а, напротивъ, одна служила дополненіемъ и усовершенствованіемъ другой. Не трудно замѣтить, въ какой чрезвычайной мѣрѣ одна теорія подтверждавала другую, когда каждая изъ нихъ черезъ это соединеніе усвоивала весь кругъ идей и отношеній другой.

Эта другая теорія была теорія растворовъ вантъ-Гоффа. Авторъ ея родился въ 1852 году въ Роттердамѣ, въ семьѣ одного врача, съ юныхъ лѣтъ интересовался предметами техническими, благодаря чему ему посчастливилось избѣжать обычной траты энергіи, которую мы называемъ гуманистическимъ воспитаніемъ въ гимназіяхъ. Вслѣдствіе этого онъ очень рано развился, и когда онъ, по окончаніи своего техническаго образованія, обнаружилъ живой интересъ къ чистой наукѣ, ему было разрѣшено въ видѣ исключенія, въ награду за прежніе успѣхи, посѣщать университетъ. Получивъ въ очень короткое время научное

образование въ Утрехтѣ, Боннѣ и Парижѣ, онъ на 22-омъ году жизни поразилъ научный міръ сочиненіемъ о пространственныхъ формулахъ въ химіи, совершившимъ въ этой послѣдней коренной переворотъ, принявшій въ послѣдствіи чрезвычайные размѣры. Одинъ другъ его, ботаникъ, въ разговорѣ обратилъ его вниманіе на извѣстныя экспериментальныя изслѣдованія ботаника Вильгельма Пфеффера касательно давленія, образующагося при извѣстныхъ условіяхъ какъ въ клѣткахъ растенія, такъ и въ искусственныхъ воспроизведеніяхъ этихъ клѣтокъ. Познакомившись съ этими явленіями, неизвѣстными еще за предѣлами круга ботаниковъ, онъ создалъ на основѣ ихъ теорію растворовъ, оказавшую на развитіе химіи не меньшее вліяніе, чѣмъ первое сочиненіе, о которомъ мы упомянули выше. Такъ какъ вліяніе это распространилось и на электрохимію, то намъ нужно изложить эту теорію въ основныхъ ея чертахъ. Впервые работа эта была обнародована въ 1885 году, когда автору, слѣдовательно, было не болѣе 23 лѣтъ отъ роду. Такимъ образомъ, онъ на протяженіи одного года съ лишнимъ обогатилъ химію двумя важнѣйшими идеями, давшими мощный толчекъ дальнѣйшему ея развитію.

Пфефферъ исходилъ изъ слѣдующаго наблюденія: при извѣстныхъ условіяхъ въ клѣткахъ растеній образуется очень сильное давленіе, достигающее порой до 12 атмосферъ. Клѣтка должна быть для этого окружена чистой водой, а сама она должна содержать въ растворѣ всевозможныя вещества, которыя и при этихъ условіяхъ не переходятъ въ воду. Давленіе, поэтому, можетъ разсматриваться, какъ проявленіе стремленія растворенныхъ веществъ къ распространенію внутри клѣтки, стремленія, встрѣчающаго помѣху въ стѣнкахъ клѣтки, — вслѣдствіе чего и образуется это давленіе. Это явленіе было замѣчено и другими изслѣдователями, но

они удовольствовались тѣмъ, что отмѣчали его, какъ интересное проявленіе жизни, столь же таинственное, какъ и сама жизнь. Иначе отнесся къ нему Пфефферъ: онъ предпринялъ смѣлую попытку воспроизвести искусственно живую клѣтку, которая обладала бы этимъ свойствомъ.

Правда, то была не первая попытка въ этомъ родѣ. Еще до него Морицъ Траубе приготовлялъ искусственныя клѣтки, во многихъ отношеніяхъ сходныя съ живыми. Между прочимъ, онѣ обладали и тѣмъ свойствомъ, что не позволяли замкнутымъ въ нихъ раствореннымъ веществамъ выступать въ окружающую воду. Траубе родился въ 1826 году въ Ратиборѣ, получилъ естественно-научное образованіе и степень доктора философіи, но затѣмъ, по причинамъ внѣшняго характера, сталъ во главѣ крупной винной торговли и въ свободное отъ этихъ занятій время занимался научными работами, главнымъ образомъ, въ области, лежавшей на межѣ между химіей и біологіей. Изслѣдованіе, о которомъ у насъ здѣсь идетъ рѣчь, онъ обнародовалъ въ 1867 году. Покойлось оно на слѣдующихъ основныхъ идеяхъ.

Если вы внесете каплю раствора, содержащаго извѣстное вещество *A*, въ другой растворъ, содержащій вещество *B*, которое съ веществомъ *A* образуетъ нерастворимый осадокъ, то въ мѣстѣ соприкосновенія ихъ должна образоваться оболочка изъ этого осадка, которая не пропускаетъ ни вещества *A*, ни вещества *B*. Ибо будь въ какомъ-нибудь мѣстѣ ея отверстіе, черезъ которое могло бы проходить одно изъ этихъ веществъ, то здѣсь должно было бы произойти соприкосновеніе обоихъ растворовъ, и отверстіе должно было бы закрыться образовавшимся осадкомъ. Оказалось, что не всѣ осадки для этого пригодны, ибо не всѣ образуютъ цѣльныя оболочки. Для этого пригодны прежде всего

такіе осадки, которые образуются въ коллоидномъ, т.е. не-кристаллическомъ состояніи. Пользовался Траубе, главнымъ образомъ, взаимодействіемъ дубильной кислоты и клея или взаимодействіемъ сѣрнокислой мѣди съ желтой кровяной солью. Весьма замѣчательно было то, что оболочки, получавшіяся отъ осадковъ, оказались непроницаемы не только для веществъ, образовавшихъ эти осадки, но и для нѣкоторыхъ другихъ веществъ. За то онѣ были проницаемы для воды, ибо если внутри ихъ растворъ былъ достаточно концентрированъ, то вода проникала туда, и образовавшееся давление расширяло клѣтку. Если оболочка разрывалась, то получавшіяся отверстія автоматически замыкались осадками, которые сейчасъ же образовывались.

Желая измѣрить величину давленія, Пфефферъ увидѣлъ себя вынужденнымъ сдѣлать эти нѣжныя оболочки настолько прочными, чтобы онѣ могли выдерживать давленіе нѣсколькихъ атмосферъ. Чтобы рѣшить эту задачу, онъ создавалъ осадки внутри пористаго глинянаго сосуда, какіе употреблялись при гальваническихъ опытахъ. Сравнительно грубый (хотя все еще микроскопически тонкій) остоу изъ глины поддерживалъ нѣжныя оболочки и настолько успѣшно служилъ имъ опорой, что онѣ, дѣйствительно, могли выдерживать давленіе. Пфефферу удалось даже пользоваться этими стѣнками, когда въ жидкостяхъ и не было снаружи и внутри веществъ, которыя образовывали бы новыя осадки для задѣлыванія получившихся отверстій. Но это было случайностью, ибо, къ счастью, онъ началъ свои опыты съ особенно подходящимъ для этого сортомъ глиняныхъ сосудовъ. Когда онъ приступилъ къ своей работѣ съ новымъ транспортомъ ихъ, работа не шла, и онъ поспѣшилъ достать себѣ прежній сортъ, чтобы имѣть возможность спокойно закончить изслѣдованіе.

Опыты эти дали слѣдующіе результаты: если въ сосудъ введенъ былъ растворъ сахара, напримѣръ, а снаружи была чистая вода, то въ сосудѣ,—совершенно замкнутомъ и снабженномъ манометромъ,—давленіе медленно повышалось до извѣстнаго предѣла, зависѣвшаго отъ природы раствореннаго вещества и концентраціи раствора. Если давленіе съ самаго начала было больше, то соотвѣтственное количество воды выдѣлялось, пока не устанавливалось равное давленіе. Такимъ образомъ, здѣсь было настоящее состояніе равновѣсія. Пфефферъ нашелъ, что давленіе, исходящее изъ растворенныхъ солей, становилось замѣтно большимъ уже при слабыхъ концентраціяхъ, между тѣмъ какъ въ другихъ веществахъ, въ особенности, клеевидныхъ, или въ коллоидахъ, давленіе было гораздо меньше. Изслѣдовавъ эти явленія, насколько это нужно было ему для ботаническихъ цѣлей, онъ попытался побудить знакомыхъ физиковъ и химиковъ къ дальнѣйшему ихъ изученію, но всѣ попытки его оставались тщетными.

Познакомившись съ этими фактами, вантъ-Гофъ понялъ, что это осмотическое давленіе, какъ называлъ его Пфефферъ, весьма сходно съ давленіемъ газа. Подобно послѣднему давленію, оно возрастаетъ пропорціонально концентраціи или плотности и съ повышеніемъ температуры возрастаетъ пропорціонально абсолютной температурѣ. Но самое удивительное было слѣдующее: давленіе это и численно совпадало съ давленіемъ, которое соотвѣтствующее вещество производило бы, какъ газъ, если бы онъ при той же температурѣ занималъ тотъ же объемъ. Представимъ себѣ, что растворъ вещества А находится въ аппаратѣ Пфеффера, въ осмометрѣ, подъ такимъ давленіемъ, которое образуется, когда [этотъ послѣдній помѣщенъ въ чистую воду; представимъ себѣ, далѣе, что послѣ этого сна-

ружи и изнутри аппарата удалена вся вода, такъ что вещество остается внутри въ видѣ газа, а снаружи образуется пустое пространство: давленіе тогда остается безъ измѣненія, ибо давленіе газа равно осмотическому давленію *).

Этимъ было сразу получено численное подтвержденіе той, случайно высказанной, но недоказанной мысли, что состояніе вещества въ весьма слабомъ растворѣ можно сравнить съ газообразнымъ его состояніемъ. Вся разница между этими двумя состояніями сводится къ присутствію или отсутствію растворителя, и отношеніе между этимъ послѣднимъ и раствореннымъ веществомъ такое же, какъ между пустымъ пространствомъ и газообразнымъ веществомъ.

Но относительно газовъ и паровъ существуетъ чрезвычайно общій и важный законъ, открытый Гэи-Люссакомъ. Онъ гласитъ, что количества веществъ, которыя при равномъ давленіи и равной температурѣ занимаютъ равные объемы, суть количества химически сравнимыя. Количества эти находятся въ отношеніяхъ, которыя могутъ быть выражены ихъ вѣсами соотвѣствующими химическимъ формуламъ. Они называются молекулярными вѣсами и получаются сложениемъ атомныхъ вѣсовъ входящихъ въ составъ даннаго вещества элементовъ (если въ составъ даннаго вещества входятъ нѣсколько соединительныхъ вѣсовъ того или другого элемента, то атомный вѣсъ его необходимо

*) Исслѣдованная Пфефферомъ вещества въ общемъ не могутъ быть при температурахъ опыта переведены въ газообразное состояніе настолько, чтобы можно было именно такимъ образомъ произвести опытъ. Но изъ давленія и объема при какихъ угодно другихъ условіяхъ, при которыхъ вещество переходитъ въ газообразное состояніе, можно вычислить то давленіе, которое оно производило бы, если бы оно находилось въ условіяхъ осмометра и оставалось въ газообразномъ состояніи.

предварительно соотвѣтственно умножить). Вмѣстѣ съ тѣмъ они представляютъ также тѣ количества, въ которыхъ вещества вступаютъ между собой въ химическое взаимодействіе—прямо или помноженные на рациональные множители. Наконецъ, получаются и для химической систематики самыя наглядныя отношенія, если выбрать формулы соединеній такъ, чтобы онѣ выражали молекулярные вѣса, или вѣса равныхъ объемовъ въ газообразномъ состояніи.

Изъ сказаннаго ясно, что знаніе молекулярныхъ вѣсовъ играетъ весьма важную роль въ химіи, а открытіе вантъ-Гоффа дало возможность опредѣлить ихъ и у такихъ веществъ, которыя не могутъ быть переведены въ газообразное состояніе. Для этого они должны быть только растворимы въ какомъ-нибудь растворителѣ. Ибо то, что было изложено выше насчетъ водныхъ растворовъ, относится, какъ мы это скоро докажемъ, и къ растворамъ всякаго рода.

Осмотическія измѣренія даются лишь съ трудомъ и возможны только у немногихъ веществъ. И значеніе теоріи вантъ-Гоффа въ значительной мѣрѣ возросло, когда онъ доказалъ, что при помощи термодинамики можно между осмотическимъ давленіемъ и нѣкоторыми, совершенно другими явленіями установить такое отношеніе, что изъ соотвѣтственныхъ данныхъ этихъ явленій можно вычислить то давленіе. Явленія эти суть тѣ измѣненія, которыя испытываютъ свойства растворителя, когда въ немъ растворены другія вещества. Такъ, напримѣръ, каждый растворъ замерзаетъ при болѣе низкой температурѣ, чѣмъ чистый растворитель, безъ примѣси раствореннаго вещества. Этимъ именно пользуются, между прочимъ, зимой, посыпая солью рельсы трамвая. Дѣло въ томъ, что снѣгъ и соль суть вещества твердыя, но они плавятся сейчасъ же, какъ только соприкасаются, потому что образующійся рас-

творъ соли имѣетъ очень низкую точку замерзанія (-19°). Разъ температура среды выше этой, смѣсь плавится.

Именно около этого времени Ф. М. Рауль, съ которымъ мы познакомились уже выше по другому поводу, (см. стр. 135) произвелъ очень широко задуманные опыты для опредѣленія вліянія различныхъ веществъ на температуру замерзанія ихъ растворителей. Кромѣ водныхъ растворовъ, которые до него были исключительно предметомъ изслѣдованія, онъ работалъ еще и съ другими растворителями. Онъ нашелъ, что при одномъ и томъ же растворителѣ точки замерзанія растворовъ были равны, если количества растворенныхъ веществъ относились другъ къ другу, какъ ихъ молекулярные вѣса; слѣдовательно, при тѣхъ же условіяхъ температура замерзанія чистаго растворителя понижалась на ту же величину.

Вантъ-Гофъ же показалъ, что то же самое отношеніе можетъ быть выведено изъ найденныхъ имъ законовъ осмотического давленія. Чтобы дать представленіе о связи, существующей между этими двумя величинами, необходимо замѣтить слѣдующее. Чтобы усилить давленіе въ осмометрѣ до нарушенія равновѣсія и заставить выступить изъ него нѣкоторое количество чистой воды, необходимо затратить извѣстное количество работы, равное произведенію изъ давленія на объемъ выдѣлившейся изъ осмометра воды. Если растворъ болѣе слабый, то и осмотическое давленіе меньше, а, слѣдовательно, и работа для того же количества воды тоже меньше. Слѣдовательно, осмотическое давленіе каждаго раствора вполне характеризуется этой работой.

При замерзаніи раствора происходитъ въ извѣстномъ смыслѣ то же самое, ибо образующійся ледъ, какъ показали самые тщательные опыты, есть чистый ледъ, т. е. чистая вода въ твердомъ состояніи. Но для выдѣленія льда температура замерзанія чистаго растворителя,

какъ мы видѣли уже выше, недостаточна, а для этого нужна болѣе низкая температура. И эти величины тоже можно выразить въ формѣ работы на основаніи втораго основнаго закона ученія объ энергіи. Такъ какъ работа для одного и того же процесса выдѣленія воды не зависитъ совершенно отъ особаго пути, которымъ это выдѣленіе достигается, ибо иначе было бы возможно perpetual mobile, то получается уравненіе, если установить равенство между обѣими этими работами. Въ этомъ уравненіи мы имѣемъ на одной сторонѣ осмотическое давленіе и выдѣленное количество воды, а на другой—термодинамическую формулу для работы выдѣленія льда при болѣе низкой температурѣ; эта послѣдняя формула содержитъ это пониженіе температуры, теплоту плавленія льда, абсолютную температуру всего процесса и, наконецъ, количество льда. Количество воды считаютъ равнымъ количеству льда, и тогда можно вычислить осмотическое давленіе изъ остальныхъ величинъ. Оно оказывается пропорціональнымъ понижению температуры; это и есть, слѣдовательно, мѣра осмотическаго давленія, а съ тѣмъ вмѣстѣ и мѣра для опредѣленія молекулярнаго вѣса. Но это именно и есть тотъ результатъ, къ которому пришелъ Рауль чисто эмпирическимъ путемъ.

До сихъ поръ здѣсь не было еще ничего электрохимическаго. Это электрохимическое скрывалось въ одномъ мѣстѣ, о которомъ въ то время ученые не охотно говорили. Дѣло въ томъ, что и вантъ-Гофъ, и Рауль нашли, что законы ихъ въ очень многихъ случаяхъ, правда, оказываются превосходными, но въ нѣкоторыхъ другихъ, частью весьма важныхъ, оказываются несостоятельными. Чѣмъ это объясняется, ни одинъ изъ нихъ не могъ сказать. Эта аномалія наблюдалась именно въ случаѣ водныхъ растворовъ. Правда, оказались еще аномаліи и при опредѣленіи молекулярныхъ вѣсовъ

нѣкоторыхъ веществъ на основаніи плотности ихъ паровъ, но эти аномаліи большей частью выражались въ томъ, что молекулярные вѣса оказались слишкомъ большими и сравнительно съ химическими аналогіями. Этому нашли удовлетворительное объясненіе, сказавъ, что въ такихъ случаяхъ образовались соединенія веществъ съ самими собой, или полимерныя соединенія, какъ они были специально названы. Но въ данномъ случаѣ такое объясненіе было неумѣстно, ибо молекулярные вѣса, вычисленные изъ прямыхъ или косвенныхъ измѣреній осмотического давленія, оказались не больше, а меньше дѣйствительныхъ.

И этому были найдены примѣры въ опредѣленіи плотности паровъ. Плотность паровъ хлористаго аммонія, напримѣръ, вдвое меньше той, которая соответствуетъ наименьшему молекулярному вѣсу, вычисленному изъ его формулы. Но и здѣсь было найдено послѣ кое-какихъ работъ и споровъ удовлетворительное объясненіе: пары состоятъ вовсе не изъ хлористаго аммонія, а изъ хлороводорода и амміака, продуктовъ свободного разложенія хлористаго аммонія, каковое разложеніе происходитъ при выпариваніи его. Такія свободныя разложенія наблюдались неоднократно и получили названіе диссоціаціи. Когда изъ плотности паровъ получались вычисленіемъ слишкомъ малые молекулярные вѣсы, то это приписывали наступившей диссоціаціи, и въ пользу этого взгляда можно было привести довольно вѣскія основанія.

Но въ нашемъ случаѣ это представлялось совершенно невозможнымъ. Въ самомъ дѣлѣ, какую диссоціацію можно было допустить, напримѣръ, въ хлористомъ калиѣ, молекулярный вѣсъ котораго, полученный изъ пониженія точки замерзанія, оказывался вдвое меньше того, который получался изъ формулы? На калий и хлоръ? Это казалось невозможнымъ, ибо хлоръ есть

газъ, а калий—металлъ, который въ присутствіи воды въ свободномъ состояніи существовать не можетъ. Или на соляную кислоту и ѣдкое кали при содѣйствіи воды? Но если смѣшать растворы соляной кислоты и ѣдкаго кали, то наблюдается сильное выдѣленіе кислоты, объемъ измѣняется, и замѣчаются всѣ признаки химическаго процесса, а именно взаимодѣйствія обоихъ веществъ. Очевидно, слѣдовательно, что эти вещества не могутъ существовать рядомъ, не вступая сейчасъ-же во взаимодѣйствіе, а, слѣдовательно, они и не могутъ быть продуктами диссоціаціи. Поэтому, ничего болѣе покуда не оставалось, какъ признать эти исключенія, какъ таковыя, и ирраціональныя ихъ свойства выразить черезъ коэффициентъ ирраціональности i на каковой коэффициентъ приходилось умножать теоретическое осмотическое давленіе, чтобы получить дѣйствительное. Для хлористаго калия, напримѣръ, этотъ коэффициентъ былъ равенъ почти 2, для сѣрнокислатаго калия—почти 3.

Вотъ въ этомъ-то пунктѣ Арреніусъ внесъ порядокъ однимъ смѣлымъ приѣмомъ. Онъ замѣтилъ, что всѣ ирраціональныя растворы содержатъ электролиты и являются хорошими проводниками электрическаго тока. Но именно по отношенію къ нимъ онъ искалъ подходящаго объясненія ихъ активности, которая, какъ таковая, была фактомъ опыта. И вотъ онъ убѣдился въ томъ, что его активность стоитъ въ весьма простомъ отношеніи къ ирраціональности вантъ-Гоффа: величина, на которую коэффициентъ i былъ больше 1, была равна (по крайней мѣрѣ, въ простѣйшихъ случаяхъ) величинѣ активности. Эта послѣдняя, слѣдовательно, была аналогична диссоціаціи; и электропроводность, и отклоненіе отъ закона растворовъ, или диссоціація,—все это проявленія одной и той-же особенности электролитовъ. Въ одномъ изслѣдователи электропроводности

были согласны,—именно въ томъ, что частямъ веществъ, или іонамъ, присуща особая свобода или подвижность, какъ въ электрическомъ, такъ и въ химическомъ отношеніяхъ. Здѣсь-же, съ другой стороны, говорилось даже о диссоціаціи, т. е. о полномъ отдѣленіи и полной свободѣ, и вопросъ заключался только въ томъ, какимъ образомъ іоны, которые, безъ всякаго сомнѣнія, должны разсматриваться, какъ продукты распада при диссоціаціи, въ состояніи существовать свободно. Сначала былъ данъ тотъ отвѣтъ, что элементарные іоны вовсе не то же, что свободные элементы, ибо они, вѣдь, отягощены, согласно закону Фарадея, весьма большими количествами электричества, между тѣмъ какъ свободные элементы и отъ электричества свободны. Дѣло идетъ здѣсь, слѣдовательно,—на что указано было впоследствии,—объ изомерныхъ веществахъ, какъ графитъ и алмазъ или бѣлый и красный фосфоръ. И та специальная особенность, что такіа различія оказываются всегда связанными съ различіями въ содержаніи энергіи, увеличивала еще сходство, ибо и іоны содержатъ совсѣмъ другія количества энергіи, чѣмъ свободные элементы. Въ случаѣ-же сложныхъ іоновъ, какъ сульфатъ-іонъ, нитратъ-іонъ и т. д., соответствующія нейтральныя соединения вообще не способны существовать отдѣльно. Такъ, при электролизѣ, напримѣръ, при которомъ іонъ хлора переходитъ въ хлорный газъ, когда на анодѣ онъ лишается отрицательнаго электричества, изъ іона сульфата SO_4 , напримѣръ, не образуется изомерное, не-электрическое соединеніе, а происходитъ реакція съ водой раствора, въ результатъ чего образуется соответствующая кислота съ выдѣленіемъ кислорода.

Статья, въ которой Аррениусъ въ самомъ спокойномъ тонѣ развивалъ эту смѣлую мысль, появилась въ первомъ томѣ незадолго до того основаннаго жур-

нала „Zeitschrift für physikalische Chemie“ („Журналъ Физической Химіи“), который тѣмъ самымъ взялъ на себя защиту этой и родственныхъ ей идей. Такой журналъ былъ необходимъ, ибо врядъ ли какое-нибудь изъ прежнихъ повременныхъ изданій рѣшилось бы печатать у себя подобнаго рода ереси. Вѣдь, не задолго до того теорія вантъ-Гоффа о пространственныхъ формулахъ органическихъ соединений, выпущенная отдѣльнымъ изданіемъ, была съ негодованіемъ и грубыми насмѣшками „уничтожена“ въ одномъ распространенномъ химическомъ журналѣ извѣстнымъ лейпцигскимъ профессоромъ. И потомъ, когда стали поступать извѣстія, подтверждающія теорію, то требовалась извѣстнаго рода смѣлость, чтобы открыто заявить, что факты хорошо согласуются съ теоріей. Да и взгляды Аррениуса сначала были встрѣчены отрицательно почти со всѣхъ сторонъ. Это отрицательное отношеніе тѣмъ болѣе понятно, что изслѣдованія Рауля и вантъ-Гоффа о законахъ растворовъ были извѣстны лишь немногимъ, такъ что только эти немногіе и могли понять, какой огромный шагъ впередъ представляетъ изслѣдованіе Аррениуса. Для остальныхъ же Аррениусъ былъ какой-то неизвѣстный молодой человѣкъ, не профессиональный химикъ даже, провозглашающій какія-то абсурдныя идеи по вопросамъ, въ которыхъ онъ вовсе не специалистъ.

Мы говоримъ все это не въ порицаніе и не въ насмѣшку. Намъ важно только дать отчетъ объ общемъ положеніи науки въ то время. Благодаря сказочно быстрому расцвѣту промышленности каменноугольныхъ красокъ, методологическіе вопросы, возникавшіе со всѣхъ сторонъ, слишкомъ привлекли къ себѣ интересъ большинства химиковъ, и потому работы по органической химіи на столько завладѣли ихъ вниманіемъ, что обсуждаемыя здѣсь проблемы вообще не чувствовались даже,

какъ проблемы. Далѣе, тѣ же работы въ области каменноугольныхъ красокъ слишкомъ направили химическое мышленіе на качественную сторону дѣла, и потому ученый міръ вовсе не почувствовалъ со всей надлежащей силой убѣдительность количественнаго доказательства, которое заключалось въ совершенно неожиданномъ отношеніи между электропроводностью и пониженіемъ точки замерзанія водныхъ растворовъ солей. Новому ученію пришлось лишь еще создавать себѣ тотъ кругъ, на который и въ которомъ оно могло бы вліять, и это ему очень скоро удалось.

Глава девятая.

Ученіе о свободныхъ іонахъ.

Кругъ сотрудниковъ, работавшихъ надъ развитіемъ новой идеи и иронически названныхъ послѣдователями іонической школы, сгруппировался вокругъ лейпцигскаго университета. Произошло это вслѣдствіе нѣсколькихъ благопріятствовавшихъ тому причинъ. Во-первыхъ, книга Вильгельма Оствальда „Lehrbuch der allgemeinen Chemie“ (1884—1887) („Учебникъ Общей Химіи“) подготовила почву для болѣе широкаго интереса къ проблемамъ физической химіи. Въ этой книгѣ было впервые обнаружено, какой богатый кладъ научнаго познанія уже имѣется налицо въ этой области, и какъ гармонически всѣ разсѣянные до тѣхъ поръ изслѣдованія могутъ быть объединены въ одно стройное цѣлое. Когда же, непосредственно вслѣдъ за обнародованіемъ этого сочиненія и въ результатъ его, автору была предложена кафедра и связанная съ ней лабораторія, то всѣ тѣ молодые ученые, которые по названному сочиненію познакомились съ этой молодой и многообѣщавшей областью, отправились въ Лейпцигъ, чтобы посвятить и свои силы общей работѣ.

Отсюда ясно, какъ сравнительно легко для университета стать на нѣкоторое время центромъ изслѣдованій въ новой области. Главное условіе для этого — молодой учитель, соединяющій съ собственной любовью къ дѣлу умѣніе сообщать эту любовь и другимъ. На

второмъ мѣстѣ я поставилъ бы условія работы. Особенно большихъ средствъ здѣсь совсѣмъ не нужно, ибо уже таковы молодныя области знанія, что въ нихъ можно съ успѣхомъ работать съ малыми внѣшними средствами. Это—вполнѣ естественное послѣдствіе ихъ молодости, т. е. того факта, что онѣ до этого времени еще не разрабатывались. Ибо тогда сокровища свободно разсыяны въ нихъ, какъ слитки золота во вновь открытой богатой розсыпи, такъ что стоитъ только нагнуться, чтобы собирать ихъ. Только послѣ этого перваго сбора затраты на разработку менѣе доступныхъ залежей все болѣе и болѣе повышаются. Первые затрудненія, которыя здѣсь возникаютъ, обусловливаются прежде всего тѣмъ, что вовсе не легко во время распознать такія розсыпи, какъ таковыя. Именно потому, что онѣ отличаются отъ областей, открытых до тѣхъ поръ, часто кажется, что эти новыя области противорѣчатъ всему „испытанному старому“, и потому къ нимъ надо относиться не только не благопріятно, но прямо таки враждебно. Чѣмъ болѣе стары при этомъ руководящія лица, тѣмъ труднѣе пробиться новымъ теченіямъ. И въ данномъ случаѣ автору была предложена кафедра не столько въ слѣдствіе этой работы его въ новой области, сколько скорѣе вопреки ей, и была она ему предложена только послѣ того, какъ попытки замѣстить ее болѣе старымъ и болѣе достойнымъ представителемъ данной специальности потерпѣли неудачу.

Правда, это ничуть не помѣшало быстрому развитію научнаго познанія въ этой новой области, открытой вантъ-Гоффомъ и Аррениусомъ. Вкладъ, сдѣланный въ эту новую науку первымъ изъ нихъ, сводился къ тому, что примѣненіе законовъ о газахъ къ слабымъ растворамъ дало возможность выразить существовавшія здѣсь соотношенія въ числахъ. Въ работахъ Виллара Гиббса, о которыхъ мы говорили выше,

было уже принципиально вполнѣ выяснено и даже выражено въ формулахъ ученіе о химическомъ равновѣсіи, т. е. большая часть того, что обыкновенно называютъ ученіемъ о химическомъ сродствѣ, но только для того случая, когда участвующія въ процессахъ вещества суть газы. Открытіе вантъ-Гоффа распространило это познаніе на всю область растворенныхъ веществъ. Еще до Гиббса нашелъ тѣ же основы и развилъ для нѣкоторыхъ важныхъ случаевъ А. Горстманнъ. Онъ же указалъ уже и на то, что, по всѣмъ видимостямъ, законы, правильные для газовъ, находятъ примѣненіе и къ слабымъ растворамъ. Такъ, заколдованный садъ ученія о химическомъ сродствѣ, въ свое время описанномъ у Гете подъ названіемъ избирательнаго сродства (какое описаніе соответствовало еще состоянію науки и болѣе полувѣка спустя) былъ открытъ для каждаго и ждалъ только гостей.

Съ другой стороны, столь же неожиданное, какъ и ясное возрѣніе Аррениуса, что водные растворы солей содержатъ, главнымъ образомъ, ихъ свободные іоны, было положено въ основу стройной теоріи, объяснявшей всѣ свойства этихъ веществъ, съ которыми химику всего чаще приходится имѣть дѣло. Сколь ни абсурдной представилась мысль съ перваго взгляда, она оказалась неистощимой въ дѣлѣ выясненія и обобщенія явленій. Въ исторіи химіи можно указать только на одинъ такой же примѣръ: это переворотъ, происшедшій въ наукѣ, когда теорія кислорода вытѣснила теорію флогистона. Какъ и тамъ, дѣло шло и здѣсь о коренномъ переворотѣ въ установившихся привычкахъ мышленія. Съ отказомъ отъ теоріи флогистона пришлось отказаться, какъ извѣстно, отъ взгляда, будто металлы суть вещества сложные, а окиси—простыя вещества, и замѣнить его взглядомъ противоположнымъ. Такъ и въ теоріи свободныхъ іоновъ пришлось „самыя крѣпкія

соединения“ рассматривать, какъ далеко непрочныя, ибо они распадаются на свои іоны, а менѣе устойчивыя соединения, напимѣрь, соединения органической химіи, признавать наиболѣе устойчивыми. Въ обоихъ случаяхъ рядомъ съ провозглашеніемъ новой идеи потребовалась еще специальная организація, которая познакомила бы съ ней всѣхъ, развивая ее во всѣхъ подробностяхъ и дѣлая повсюду необходимые и именно потому столь плодотворные выводы изъ нея, не считаясь совершенно съ существующими привычками мышленія. Этой работой и занялся прежде всего основанный къ тому времени „Журналъ Физической Химіи“, на необходимость котораго для развитія новой идеи мы указывали уже выше.

Первымъ шагомъ въ новой области было установленіе болѣе тѣсной связи между обѣими идеями вантъ-Гоффа и Аррениуса. Мы говорили уже, что вещества, свойства которыхъ первый изъ этихъ двухъ ученыхъ вынужденъ былъ еще охарактеризовать ирраціональнымъ коэффициентомъ i , были именно тѣ вещества, въ которыхъ Аррениусъ, на основаніи ихъ электропроводности, долженъ былъ допустить распадъ на іоны, или электролитическую диссоціацію. Далѣе, сравнивъ отклоненіе, вычисленное по его правилу, съ экспериментально установленнымъ въ особенности работами Рауля (см. стр. 181), онъ доказалъ, что обѣ независимыя группы чиселъ (электропроводность и пониженіе точки замерзанія) вездѣ совпадаютъ. Но для случая диссоціаціи, т. е. свободного распада газавъ на газообразныя составныя части, законы равновѣсія были уже найдены. Если же въ растворахъ электролитовъ дѣйствительно происходитъ диссоціація (Аррениусъ), и если растворы подчинены законамъ, установленнымъ по отношенію къ газамъ (вантъ Гоффъ), то и тѣ законы диссоціаціи,

установленные для газавъ, должны распространяться и на электролитическую диссоціацію, и замѣченное всѣми изслѣдователями данной области, вліяніе разжиженія раствора на электропроводность должно найти выраженіе черезъ эти законы.

И Вильгельмъ Оствальдъ, опираясь на свой и чужой матеріалъ, доказалъ (1888) правильность всѣхъ этихъ разсужденій. Онъ могъ привести сотни случаевъ, въ которыхъ этотъ „законъ разжиженія“ нашелъ полное подтвержденіе, и онъ доказалъ примѣнимость общихъ законовъ химической механики къ равновѣсію іоновъ *). Этимъ было достигнуто плодотворное объединеніе тѣхъ двухъ основныхъ теорій, которое и по сей день не перестаетъ приносить все новые и новые плоды.

Здѣсь не мѣсто подробно останавливаться на дальнѣйшихъ работахъ въ этомъ направленіи. Ограничимся только общей ихъ характеристикой. До этихъ поръ электрохимія представляла собой совершенно безпорядочное собраніе отдѣльныхъ фактовъ, не поддающихся никакимъ попыткамъ объединеннаго и цѣльнаго описанія. Такъ какъ она требовала одновременно и физическихъ, и химическихъ познаній, а въ теченіе почти полувѣка пути химіи и физики все болѣе и болѣе расходились, то почти всегда чувствовался недостатокъ въ лицахъ, въ умѣ которыхъ могло бы быть объединено познаніе обѣихъ областей. Возьмемъ, напимѣрь, Гитторфа. Вынужденный условіями учрежденія, въ которомъ онъ преподавалъ (Академіи въ Мюнстерѣ, которая только недавно стала университетомъ), заниматься обѣими науками, онъ владѣлъ обѣими origi-

*) Если диссоціація электролита весьма сильна, то замѣчаются отклоненія, которыя съ дальнѣйшимъ развитіемъ науки все болѣе и болѣе находятъ объясненіе.

нальнымъ образомъ. Чтобы пробить дорогу своимъ идеямъ, ему пришлось бороться, главнымъ образомъ, противъ физиковъ, которые, хотя и мало понимали въ химіи, все же были того мнѣнія, что и въ этой наукѣ имъ долженъ принадлежать рѣшающій голосъ. Все это были почти исключительно тѣ физики, которые сумѣли накопить весьма мало пригодный экспериментальный матеріалъ въ электрохиміи (въ виду теоріи Вольты ее считали специальной областью физики), но которымъ не хватало необходимыхъ основъ для теоретической оцѣнки этого матеріала.

Съ другой стороны, сказочные успѣхи въ производствѣ каменноугольныхъ красокъ произвели такое сильное впечатлѣніе, что чуть-ли не всѣ химики стали работать только въ этой области. Это направленіе въ такой мѣрѣ привлекло къ себѣ всѣ бывшія на лицо силы, что въ 80-хъ годахъ прошлаго столѣтія сами техники подняли, наконецъ, крикъ, что неорганической химіей пренебрегать нельзя, и что и въ этой области нужны люди съ хорошей специальной подготовкой. Но количество энергіи, имѣющейся на лицо въ данное время, бываетъ всегда ограниченнымъ. Не составляетъ изъ этого правила исключенія и энергія духовная. Поэтому, чѣмъ сильнѣе привлекаютъ всеобщее вниманіе работы, важныя въ данный моментъ, тѣмъ меньше остается энергіи для другихъ цѣлей.

Такимъ образомъ, обѣ науки развивались такъ, что необходимость взаимной помощи, безъ которой равномерное развитіе совершенно невозможно, не только не была ясна, а, напротивъ того, почти совершенно отрицалась. Въ прежнее время „Анналы“ Поггендорфа назывались еще „Анналами физики и химіи“, но впоследствии они были посвящены исключительно физикѣ. Раньше въ „Анналахъ химіи и фармаціи“ Либиха попадалась иногда и статья по физикѣ, въ особенности

изъ области ея, граничащей съ химіей (въ болѣе старыхъ томахъ можно даже найти годовые отчеты о прогрессѣ физики). Но съ теченіемъ времени они настолько стали „чисто химическими“, что статьи по физикѣ совершенно не принимались. Даже Роберту Майеру удалось помѣстить въ журналъ Либиха только первое, предварительное сообщеніе отъ 1842 года, но вторую свою статью онъ получилъ обратно на томъ основаніи, что „Анналы“—де перегружены „чисто химическими“ работами, и потому статьямъ по физикѣ въ нихъ нѣтъ мѣста.

Вотъ съ этимъ-то временемъ совпалъ моментъ народженія новой теоріи. Благодаря работамъ какъ Горстманна, Виллара Гиббса и Гельмгольца, такъ и ученыхъ, о которыхъ идетъ у насъ здѣсь рѣчь, она имѣла уже въ своемъ распоряженіи рядъ основныхъ законовъ природы, которые изъ качественной науки, каковой она была до тѣхъ поръ (несмотря на законъ соединительныхъ вѣсовъ), превратили ее въ науку количественную. Термодинамика, или, общѣе—энергетика, нашла въ этихъ новыхъ областяхъ такое обширное поле для работы, что въ настоящее время химическая энергетика (со включеніемъ теоріи образованія формъ тѣлъ¹⁾ и перехода ихъ изъ одной формы въ другую) стала самой разработанной и многообразной областью этой высшей изъ всѣхъ точныхъ наукъ. Что касается въ частности электрохиміи, то на основѣ изслѣдованій, произведенныхъ независимо другъ отъ друга В. Гибсомъ и Гельмгольцемъ, введеніе въ нее новыхъ понятій напрашивалось само собой, и если ученіе о свободныхъ іонахъ первоначально было разработано для объясненія фактовъ электролитической проводимости, то оно очень скоро обнаружило свои выдающіяся

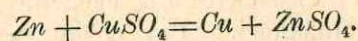
¹⁾ Оствальдъ подъ этимъ подразумѣваетъ, такъ называемыя, агрегатныя состоянія тѣлъ.

Прим. пер.

преимущества для объясненія и обобщенія фактовъ и во всѣхъ другихъ областяхъ электрохиміи.

Ближайшимъ значительнымъ шагомъ впередъ въ этомъ направленіи были изслѣдованія Вальтера Нернста (родился въ 1864 году и въ настоящее время профессоръ физической химіи въ Берлинѣ) объ электродвижущей силѣ гальваническихъ элементовъ. Гиббсъ и Гельмгольцъ показали, какая связь существуетъ между электродвижущей силой и работой, которая освобождается химическимъ процессомъ въ элементѣ. Но эти работы не могли быть вычислены изъ какихъ-нибудь болѣе общихъ данныхъ, и было необходимо численно опредѣлить ихъ при помощи какого-нибудь другого эквивалентнаго процесса (испаренія, напимѣръ, или расширения), чтобы отсюда вычислить электродвижущую силу. Но теоріями вантъ-Гоффа и Аррениуса и объединеніемъ ихъ въ трудахъ Оствальда были опредѣлены именно работы при образованіи и измѣненіи электролитическихъ растворовъ. Отсюда понятно, что тѣмъ самымъ былъ указанъ путь къ полученію общихъ выраженій для электродвижущихъ силъ электрохимическихъ аппаратовъ.

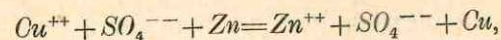
Покажемъ, какъ это происходитъ, на старомъ примѣрѣ элемента Даниэля. Химическій процессъ въ общемъ и цѣломъ заключается въ превращеніи цинка и сѣрнокислой мѣди въ мѣдь и сѣрнокислый цинкъ. Химическое уравненіе напомнимъ такъ:



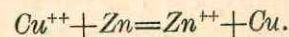
Изъ этого уравненія ясно, правда, то, что въ концѣ концовъ произошло въ элементѣ, послѣ того какъ токъ былъ замкнутъ. Но изъ него не видно, почему химическій процессъ способенъ вызвать токъ, и почему онъ продолжается только до тѣхъ поръ, покуда течетъ

токъ. Необходимыя дальнѣйшія разъясненія даетъ теорія свободныхъ іоновъ.

Согласно этой теоріи, растворъ сѣрнокислой мѣди содержитъ іоны Cu^{++} и SO_4^{--} , гдѣ знаки + и — указываютъ на число и родъ электрическихъ зарядовъ, связанныхъ съ іонами. Іоны здѣсь являются соединеніями элементовъ (или же группъ или радикаловъ) съ электричествомъ, каковое воззрѣніе съ тѣхъ поръ нашло весьма важную опору въ новѣйшихъ изслѣдованіяхъ, доказавшихъ ограниченную дѣлимость или атомистическій характеръ количествъ электричества (см. объ этомъ ниже); ибо количества электричества въ электрическихъ элементахъ по величинѣ своей тождественны съ количествами электричества, связанными, согласно закону Фарадея, съ химическими атомами. Поэтому, приведенное выше химическое уравненіе должно быть написано такъ:



гдѣ существующіе рядомъ свободные іоны показаны отдѣльно. Но изъ уравненія ясно, что аніонъ SO_4^{--} , іонъ сульфата, не испытываетъ при процессѣ никакого измѣненія, потому что онъ на обѣихъ сторонахъ уравненія остается однимъ и тѣмъ же. Если, поэтому, его выпустить, мы получимъ слѣдующее выраженіе:



Это значитъ: процессъ заключается въ томъ, что іонъ мѣди отдаетъ не заряженному электричествомъ металлическому цинку свои оба положительныхъ заряда и превращаетъ его въ іонъ цинка, а самъ онъ, потерявъ свои заряды, переходитъ въ металлическую мѣдь. Аніонъ SO_4^{--} не дѣлаетъ здѣсь ничего, а онъ долженъ только присутствовать, чтобы могъ существовать и ка-

тіонъ, ибо иначе жидкость должна была бы обнаруживать огромные положительные заряды.

Если это вѣрно, то отсюда слѣдуетъ выводъ, что электродвижущая сила элемента Даниэля есть лишь выраженіе различнаго сродства электрическаго заряда къ мѣди и цинку и потому отъ аніона вовсе не зависитъ. Но именно это было мимоходомъ найдено и прежними экспериментаторами, правда, только мимоходомъ, и они не останавливались на этомъ особомъ обстоятельстве. Только послѣ того, какъ къ этому выводу пришла новая теорія, стали рыться въ литературѣ и нашли соотвѣтственные разрозненные факты. Систематическое изслѣдованіе вскорѣ показало, что законъ этотъ имѣетъ общее значеніе: электродвижущая сила элемента Даниэля не зависитъ отъ аніона.

Примѣръ этотъ типиченъ для того направленія, которымъ пошло развитіе науки. Давъ точную формулу работъ, происходящихъ въ элементѣ того или другого опредѣленнаго устройства, можно отсюда вычислить относящуюся сюда электрическую работу и, раздѣливъ эту послѣднюю на количество электричества (согласно закону Фарадея), приведенное въ движеніе при данномъ процессѣ (чтобы вычислить величину работъ, это количество электричества должно быть отнесено къ опредѣленному количеству вещества), мы сейчасъ же получаемъ соотвѣтствующую электродвижущую силу. Принимая во вниманіе изложенныя на стр. 145 разсужденія Гельмгольца, необходимо замѣтить, что формулы ванта-Гоффа даютъ не всю энергію, а только свободную, т. е. ту именно величину, которая въ данномъ случаѣ нужна.

Нернстъ обнародовалъ свою работу въ 1889 году въ видѣ диссертациі (онъ былъ тогда ассистентомъ при физико-химическомъ институтѣ лейпцигскаго университета). Въ ней эти основныя идеи были впервые

развиты въ связи съ болѣе специальной проблемой, именно съ проблемой ряда диффундирующихъ жидкостей. Дальнѣйшее свое развитіе онѣ получили впоследствии, когда Вильгельмъ Оствальдъ сдѣлалъ попытку обобщить всю совокупность электрохимическихъ фактовъ, собранныхъ прилежной и многообразной работой цѣлаго вѣка, съ точки зрѣнія теоріи Аррениуса и Нернста и ихъ многообразныхъ примѣненій. Основная мысль названной работы Нернста оказалась при этомъ столь плодотворной, что во всей этой обширной области не оказалось въ дѣйствительности ни одного хорошо наблюденнаго факта, которому она не дала бы болѣе или менѣе полного объясненія, или по меньшей мѣрѣ, указанія, въ какомъ именно пунктѣ должна быть принята работа этого объясненія.

Чрезвычайно наглядное объясненіе получилъ въ особенности старый фактъ, который Гальвани видѣлъ, но не обратилъ на него должнаго вниманія, которому Вольта далъ ложное, а Риттеръ—правильное истолкованіе, именно, различная электродвижущая сила металловъ. Когда металлъ находится въ водномъ (или другомъ) растворѣ, то онъ можетъ, при данныхъ условіяхъ, переходить въ соль. Это—общее правило. Неблагородные металлы образуютъ такіа соли легко и быстро, благородные—только едва или вовсе солей не образуютъ, и съ этими различіями связана, согласно открытію Риттера, электродвижущая сила этихъ металловъ. Но, согласно теоріи Аррениуса, процессъ образованія соли металломъ заключается въ томъ, что металлъ переходитъ въ соотвѣтствующій іонъ. Очевидно, что при этомъ къ нему присоединяется соотвѣтствующій положительный зарядъ. Но когда образуется этотъ послѣдній, не можетъ не образоваться и эквивалентное количество отрицательнаго электричества, и потому здѣсь происходитъ слѣдующее: на каждый атомъ ме-

талла, который переходит въ жидкость вмѣстѣ съ положительнымъ зарядомъ, должно оставаться въ самомъ металлѣ соответствующее количество отрицательнаго электричества, другими словами, этотъ металлъ долженъ заряжаться въ отношеніи жидкости отрицательнымъ электричествомъ. Но этимъ онъ, со своей стороны, оказываетъ притягательное дѣйствіе на положительные іоны въ электролитѣ, что и противодѣйствуетъ отдѣленію ихъ отъ металла. Отсюда очень скоро наступаетъ состояніе равновѣсія, мѣшающее дальнѣйшему растворенію металла.

Такъ дѣло обстоитъ въ элементѣ Даніэля первоначально какъ съ цинкомъ, такъ и съ мѣдью. Но цинкъ—металлъ мало благородный, т. е. такой металлъ, который очень легко переходитъ въ свой іонъ, или иначе говоря, при такомъ переходѣ можетъ совершать большую работу. Мѣдь же—металлъ болѣе благородный, и работа при переходѣ металлической мѣди въ іонъ мѣди гораздо меньше. Вслѣдствіе этого цинкъ, при равныхъ условіяхъ, будетъ гораздо сильнѣе заряжаться отрицательнымъ электричествомъ, чѣмъ мѣдь, и если соединить оба металла проволокой, то токъ будетъ идти отъ менѣе отрицательной мѣди къ болѣе отрицательному цинку. Но въ такомъ случаѣ отрицательный зарядъ цинка будетъ уменьшаться, и онъ сможетъ выдѣлить въ жидкость новые іоны. Отрицательный же зарядъ мѣди будетъ возрастать, и она будетъ, поэтому, привлекать къ себѣ находящіеся въ растворѣ іоны мѣди, нейтрализуя ея положительный зарядъ, и прежнее состояніе равновѣсія снова наступитъ. Разряженные іоны мѣди будутъ при этомъ осаждаться въ видѣ металлической мѣди на катодѣ. Покуда оба металла соединены между собой проволокой, процессы эти не перестаютъ повторяться. Поэтому, мѣдь должна быть окружена растворомъ сѣрно-кислой мѣди, и именно іонами мѣди, ибо иначе не

было бы возможно возстановленіе ея заряда; что же касается цинка, то здѣсь для процесса не важно, существуютъ ли въ жидкости іоны цинка, или нѣтъ.

Эту различную силу, съ которой различные металлы выдѣляютъ свои іоны въ растворъ, и которая носитъ характеръ давленія, Нернстъ называетъ электролитическимъ давленіемъ раствора; величина этого давленія опредѣляетъ положеніе металла въ рядѣ напряженія металловъ. Такъ, химическія и электрическія свойства приведены въ правильную научную связь понятіемъ электролитическаго давленія раствора, и достигнуто то, чего тщетно добивался еще Фарадей. Впрочемъ, все это стало возможно лишь съ развитіемъ ученія объ энергіи.

Вмѣстѣ съ тѣмъ Нернстъ обратилъ вниманіе на то, что этими разсужденіями вопросъ еще не исчерпывается. Очевидно, нужно меньше затратить работы, чтобы выдѣлить іонъ мѣди изъ раствора, богатаго имъ, чѣмъ изъ раствора, бѣднаго имъ. Точно также освобождается меньше работы, если іонъ цинка переходитъ въ растворъ, богатый имъ, чѣмъ если онъ переходитъ въ растворъ, бѣдный имъ. Ясно, слѣдовательно, что электродвижущая сила зависитъ еще также отъ концентрации катионовъ въ растворахъ у цинка и мѣди въ элементѣ Даніэля. Теорія осмотическаго давленія вантъ-Гоффа даетъ возможность вычислить эти работы; онѣ оказываются значительно меньше работъ, зависящихъ отъ электролитическаго давленія растворовъ. Изъ приведенныхъ, лишь приблизительныхъ разсужденій съ необходимостью вытекаетъ тотъ выводъ, что электродвижущая сила гальванической пары должна повышаться съ увеличеніемъ количества находящейся въ ея распоряженіи работы и падать съ затратой этой работы. Первое происходитъ при концентрированномъ растворѣ мѣди и слабымъ растворѣ цинка, ибо тогда и

выдѣленіе мѣди, и раствореніе цинка совершается съ большой затратой работы. И дѣйствительно, электродвижущая сила этой пары при указанныхъ условіяхъ повышается и падаетъ при слабомъ растворѣ мѣди или концентрированномъ растворѣ цинка. Такъ какъ послѣднее есть необходимое послѣдствіе прохожденія тока, то этотъ элементъ (какъ и всякій другой) долженъ терять немного въ напряженіи, что на самомъ дѣлѣ является общимъ правиломъ даже для, такъ называемыхъ, постоянныхъ или свободныхъ отъ поляризаціи элементовъ. Разница только та, что при соотвѣтствующемъ устройствѣ измѣненія эти у постоянныхъ элементовъ гораздо меньше, чѣмъ у непостоянныхъ.

Подобнымъ же образомъ могутъ быть изслѣдованы всѣ возможные электрохимическіе процессы. Правда, въ случаяхъ, болѣе или менѣе сложныхъ, вычисленіе удастся не вполне, въ особенности потому, что существующія формулы для осмотическаго давленія могутъ быть примѣнены только къ растворамъ слабымъ, а формулы для концентрированныхъ растворовъ не достаточно еще разработаны. При всемъ томъ мы и при данномъ состояніи науки можемъ приблизительно оцѣнить, по крайней мѣрѣ, какъ направленіе, такъ и величину ожидаемыхъ эффектовъ. Вслѣдствіе этого врядъ ли въ данной области возможны какія-нибудь неожиданности, и когда дѣло идетъ о какихъ-либо техническихъ изобрѣтеніяхъ, то условія и возможности ихъ могутъ быть въ достаточной мѣрѣ предусмотрѣны уже и въ настоящее время.

Въ самомъ дѣлѣ, въ данномъ случаѣ электрохимически истолковывается и вычисляется процессъ взаимнаго осажденія металловъ—тотъ именно процессъ, на который алхимики смотрѣли, какъ на доказательство возможности превращенія металловъ. Но въ такой же мѣрѣ можно электрохимически не только вычислить, но и использо-

вать для извѣстнаго гальваническаго элемента всякій другой химическій процессъ, происходящій между іонами, т. е. солями. Въ видѣ примѣра сошлемся на хорошо извѣстную реакцію на соединенія хлора (т. е. на іонъ хлора),—реакцію, которая возникаетъ отъ прибавленія раствора серебряной соли: получается бѣлый творожистый осадокъ хлористаго серебра. Это—процессъ, происходящій свободно, а потому и можно, очевидно, воспользоваться имъ, чтобы вызвать электрическій токъ. Достигается это слѣдующимъ образомъ.

Оба вещества, т. е., примѣрно, растворъ азотнокислаго серебра, съ одной стороны, и растворъ поваренной соли—съ другой, вводятся въ одинъ сосудъ, и между ними при помощи пористыхъ стѣнокъ помѣщается растворъ того продукта ихъ реакціи, который можетъ растворяться, т. е. азотнокислаго натрія. Крайніе растворы тогда соприкасаются не могутъ, а потому и осаждаютъ другъ друга не могутъ. Затѣмъ въ каждый изъ этихъ двухъ растворовъ опускается по электроду изъ металлическаго серебра, и оба электрода соединяются съ гальванометромъ. Появляется токъ съ напряженіемъ приблизительно въ 0,5 вольта. Послѣ того, какъ токъ замкнуть въ теченіе нѣкотораго времени, наблюдается слѣдующее: электродъ, опущенный въ растворъ серебряной соли и, согласно направленію тока, бывшій катодомъ, покрылся кристаллами серебра, выдѣлившимися изъ раствора азотнокислаго серебра; другой электродъ покрылся бѣловатымъ покровомъ, который оказывается хлористымъ серебромъ. Источникомъ хлора явился, конечно, хлористый натрій. Отъ выдѣливашагося серебра остался соотвѣтствующій ему іонъ нитрата, а отъ выдѣливашагося хлора, который соединился съ серебромъ анода, остался іонъ натрія; оба вмѣстѣ образуютъ, слѣдовательно, нитратъ натрія. Количество серебра, выдѣ-

лившагося на катодѣ, согласно закону Фарадея, равно количеству серебра, соединившагося съ хлоромъ у анода; все количество металлическаго серебра осталось, слѣдовательно, безъ измѣненія; оно только распредѣлилось иначе. Если мы теперь подведемъ итогъ, то эквивалентныя количества азотнокислаго серебра и хлористаго натрія исчезли, и образовались азотнокислый натрій (между обоими) и хлористое серебро (у анода). Но это какъ разъ то же самое, что образуется при непосредственномъ воздѣйствіи обоихъ веществъ. Такимъ образомъ, мы опять возможность реакціи поставили въ зависимость отъ образованія электрическаго тока и снова получили гальваническую пару, дающую электродвижущую силу.

Такъ, всякая реакція съ іонами даетъ возможность вычислить электродвижущую силу, а потому, сдѣлавъ вычисленіе, обратное вычисленію на стр. 145, можно по измѣренной электродвижущей силѣ вычислить соотвѣтствующую свободную энергію. Отсюда ясно, насколько цѣнной въ данномъ случаѣ электрохимія становится также для теоретической химіи, дѣлая доступной измѣренію одну изъ важнѣйшихъ величинъ ея. И дѣйствительно, съ тѣхъ поръ къ этому средству прибѣгали очень часто, и оно стало весьма плодотворнымъ орудіемъ для рѣшенія трудныхъ проблемъ.

По этимъ краткимъ указаніямъ трудно составить себѣ ясное представленіе о томъ, какія многообразныя формы приняла разработка этой группы явленій съ изложенныхъ точекъ зрѣнія. Газовые элементы и элементы, основанные на концентраціи растворовъ, на процессахъ окисленія или на процессахъ восстановленія, элементы, движущей силой которыхъ является давленіе или сила тяжести,—всѣ эти и многіе другіе случаи нашли принципиальное разъясненіе въ подобнаго рода разсужденіяхъ, и дѣйствія ихъ могутъ быть въ значи-

тельной мѣрѣ вычислены заранѣе. Однимъ словомъ, передъ нами уже область естествознанія, въ значительной своей части ставшая дедуктивной. Это означаетъ, что въ ней есть общіе принципы, примѣненіемъ которыхъ въ самыхъ разнообразныхъ отдѣльныхъ случаяхъ эти случаи могутъ быть вполне выяснены. Здѣсь, слѣдовательно, задачей науки является уже не объясненіе случайно найденныхъ фактовъ, связь ихъ съ другими фактами, болѣе извѣстными, но наоборотъ, выводъ на основаніи правилъ соединеній всей совокупности неизвѣстныхъ еще отдѣльныхъ случаевъ, къ которымъ эти общіе принципы могутъ быть примѣнены, а также и само примѣненіе ихъ, математическое и экспериментальное. Опыту здѣсь поставлена одна задача: провѣрка правильности дедукціи. Совпаденіе данныхъ наблюденія съ заранѣе вычисленнымъ явленіемъ доказываетъ тогда, что при вычисленіи относящіяся сюда и опредѣляющіе факторы были введены въ вычисленія правильно. И если при этомъ сопоставленіи оказывается какое-нибудь противорѣчіе между данными наблюденія и данными вычисленій,—противорѣчіе, которое не удастся свести къ ошибкѣ въ вычисленіяхъ,—то это служитъ доказательствомъ, что въ вычисленіяхъ была упущена какая-нибудь существенная величина, положеніе и характеръ которой могутъ быть опредѣлены тогда систематическимъ изученіемъ даннаго случая.

Но описанная здѣсь область — далеко не единственная, которая, благодаря примѣненію новыхъ теорій, стала одной изъ наиболѣе упорядоченныхъ областей знанія. Есть еще и другія такія области, не менѣе значительныя и важныя. Къ нимъ относятся, наприкладъ, процессы, обратные тѣмъ, которыми мы только что занимались. До сихъ поръ мы изучали случаи, въ которыхъ электрическій токъ вызывается химическими

процессами. Теперь мы обратимся къ изученію явлений, въ которыхъ химическіе процессы вызываются электрическимъ токомъ. Другими словами, мы снова возвращаемся къ области электролиза.

Вспомнимъ сначала, что та загадка, которая столь затрудняла первыхъ изслѣдователей въ этой области,—раздѣльное появленіе продуктовъ электролиза у обоихъ электродовъ,—въ свѣтъ теоріи свободныхъ іоновъ вскорѣ получила до прозрачности ясное истолкованіе. Кислородъ и водородъ, выдѣляющіеся при электролизѣ воды далеко другъ отъ друга, въ дѣйствительности не стояли другъ къ другу ни въ какомъ другомъ отношеніи, кромѣ отношенія электрической нейтральности. Въ самомъ дѣлѣ, такъ какъ въ каждомъ электролитѣ іоны, по меньшей мѣрѣ отчасти, свободны, то они могутъ разряжаться одновременно на электродахъ и переходить въ нейтральныя вещества, не находясь другъ къ другу ни въ какомъ другомъ отношеніи, кромѣ того, которое дано въ законѣ Фарадея, а именно, что свободныя электрическіе заряды не образуются тогда, когда на обѣихъ сторонахъ выдѣляются эквивалентныя количества вещества. Если, напримѣръ, помѣстить бокъ-о-бокъ растворъ іодоводорода и растворъ хлороводорода и пропустить черезъ оба электрическій токъ, при чемъ анодъ помѣщенъ въ іодоводородѣ, то на катодѣ выдѣлится водородъ изъ хлороводорода, а на анодѣ—іодъ изъ іодоводорода. Другими словами, у cadaго электрода появляется тотъ продуктъ разряда іона, который у этого электрода находится, совершенно независимо отъ того, что происходитъ у другого электрода. Ужъ одного этого факта, констатированнаго еще Гемфри Дэви во всемъ его многообразіи, могло бы быть достаточно, чтобы вывести изъ него теорію свободныхъ іоновъ, если бы время для этого созрѣло. Часто пользовался этимъ въ качествѣ

техническаго вспомогательнаго средства и Вильгельмъ Гитторфъ, не позабывъ указать и на противорѣчіе этого явленія съ господствовавшимъ въ то время ученіемъ. Но только теорія свободныхъ іоновъ внесла въ эту область полную ясность.

Воспользуемся въ качествѣ простѣйшаго случая для объясненія явленій электролиза процессомъ, обратнымъ тому, который происходитъ въ элементѣ Даниэля. Если вы пропустите токъ черезъ элементъ Даниэля въ направленіи, обратномъ тому, которое естественно въ немъ вызывается химическимъ процессомъ, то и химическіе процессы тоже, конечно, станутъ обратными. Въмѣсто того, чтобы цинкъ изъ металлическаго состоянія переходилъ въ состояніе іона, а мѣдь,—изъ состоянія іона,—въ состояніе металлической мѣди, здѣсь, подѣ дѣйствіемъ обратнаго тока, мѣдь будетъ превращаться въ свой іонъ, а іонъ цинка выдѣлитъ свой электрическій зарядъ и перейдетъ въ металлическій цинкъ. Оба процесса могутъ продолжаться до тѣхъ поръ, покуда есть на лицо металлическая мѣдь и іонъ цинка,—точно такъ, какъ самостоятельный или естественный токъ существуетъ до тѣхъ поръ, покуда есть на лицо іонъ мѣди и металлическій цинкъ. Но для того, чтобы процессъ происходилъ въ направленіи, обратномъ естественному его теченію, или противъ дѣйствія существующей свободной химической энергіи, должно быть затрачено извѣстное количество работы; эта работа должна существовать въ формѣ внѣшняго напряженія, вызывающаго соотвѣтствующій электрическій токъ.

Итакъ, для того, чтобы токъ, а также химическій процессъ сдѣлались въ элементѣ Даниэля обратными, нужна электродвижущая сила, которая была бы больше собственной электродвижущей силы этого элемента. Чѣмъ больше эта разность, тѣмъ быстрѣе происходитъ процессъ. Когда же внѣшняя электродвижущая сила

равна по величинѣ электродвижущей силѣ элемента, наступаетъ состояніе равновѣсія.

Отсюда ясно, что въ простѣйшей своей формѣ электролизъ можетъ разсматриваться въ опредѣленномъ смыслѣ, какъ процессъ, обратный тому, который происходитъ въ элементѣ. Въ то время какъ въ этомъ послѣднемъ существующая свободная химическая энергія превращается въ энергію электрическую, въ процессѣ электролиза, наоборотъ, электрическая энергія должна затрачиваться и превращаться въ свободную химическую энергію. Другими словами, здѣсь должны образоваться вещества, которыя при соединеніи снова могутъ совершить работу, которыя, стало быть, изъ исходнаго своего матеріала могутъ быть получены только съ затратой работы. Электролизъ, слѣдовательно, оказывается важнымъ вспомогательнымъ средствомъ для полученія химическихъ препаратовъ, и мы видѣли выше, какъ при самомъ зарожденіи этой области знанія были приготовлены уже препараты, полученіе которыхъ при химическихъ средствахъ того времени казалось дѣломъ невозможнымъ (полученіе Дэви щелочныхъ металловъ). Правда, и тогда было скоро доказано, что можно получать калий и натрій и химическимъ путемъ, и электрический способъ ихъ добыванія до новѣйшаго времени, когда стало возможнымъ дешевое полученіе электрической энергіи механическимъ путемъ, употреблялся только въ качествѣ эксперимента на лекціи. Въ настоящее же время электрический способъ сталъ единственнымъ техническимъ способомъ ихъ полученія.

Самый очевидный выводъ, къ которому приводитъ въ области электролиза теорія свободныхъ іоновъ, есть химическая независимость процессовъ на обоихъ электродахъ. Подобно тому, какъ можно каждую реакцію, образующую катионы (или поглощающую анионы), соединить съ каждой другой реакціей, образующей анионы

(или поглощающей катионы), въ одинъ элементъ, электродвижущая сила котораго есть сумма (или разность) обоихъ напряженій у электродовъ,—такъ можно всякій катодный электролизъ соединить со всякимъ аноднымъ. И электродвижущая сила, которая должна быть преодолѣна, соотвѣтственно работѣ, которая должна быть совершена, будетъ и здѣсь выражена черезъ сумму обоихъ отдѣльныхъ напряженій у электродовъ. Для этого необходимо только соотвѣтственные электроды съ ихъ жидкостями соединять параллельно и между жидкостями установить непосредственное соприкосновеніе. Ибо въ этомъ послѣднемъ мѣстѣ соприкосновенія развиваются лишь весьма слабыя электродвижущія силы.

Химическое дѣйствіе катода можно въ общемъ разсматривать, какъ процессъ возстановленія, а химическое дѣйствіе анода—какъ окислительный процессъ. Подъ окисленіемъ здѣсь нужно лишь подразумѣвать соединеніе не только съ кислородомъ, но и съ галоидами и вообще съ такими веществами и группами веществъ, которыя могутъ образовывать анионы, а подъ возстановленіемъ—отщепленіе не только кислорода, но и галоидовъ и вообще какого-либо аніона, или, наконецъ, также соединеніе съ водородомъ. Употреблять эти два понятія въ такомъ общемъ смыслѣ привыкли даже въ общей химіи. Если же пожелать установить основы электрохимическихъ явленій, то нельзя не принять слѣдующихъ опредѣленій: окисленіе есть присоединеніе отрицательнаго или отдѣленіе положительнаго электричества, а возстановленіе есть процессъ присоединенія положительнаго или отщепленія отрицательнаго электричества. Въ соотвѣтствіи съ этимъ іонъ цинка есть продуктъ окисленія цинка, а іонъ іода—продуктъ возстановленія іода. И дѣйствительно, для того, чтобы получить іонъ цинка

изъ металлическаго цинка, нужно окисляющее средство, а чтобы получить іонъ іода изъ элементарнаго іода, нужно восстанавливающее средство, и наоборотъ, чтобы получить свободные элементы изъ соответствующихъ іоновъ, необходимо въ первомъ случаѣ восстановительное средство, а во второмъ—окислительное средство.

Изъ этого примѣра ясно, какъ глубоко теорія свободныхъ іоновъ проникаетъ и въ „чисто химическія“ воззрѣнія. Къ этому мы, впрочемъ, вернемся еще въ другой связи. Здѣсь обобщающее и связующее дѣйствіе, свойственное всякой хорошей теоріи, намъ ясно становится также и примѣнительно къ явленіямъ электролиза. Въ самомъ дѣлѣ, было только признано, что процессы, происходящіе у обоихъ электродовъ, принципиально другъ отъ друга не зависятъ и связаны между собой не качественно, а только количественно (законъ эквивалентности Фарадея), и этимъ изслѣдованіе явленій, порой очень сложныхъ, весьма значительно упростилось.

Теперь мы можемъ охарактеризовать эти процессы въ общихъ чертахъ. Первичный процессъ при электролизѣ состоитъ у каждаго электрода въ томъ, что либо измѣняются (исчезаютъ, уменьшаются или увеличиваются) заряды существующихъ іоновъ электролита, либо вещество электродовъ переходитъ въ форму іоновъ. Первое происходитъ въ случаѣ электродовъ, химически не измѣняющихся, а второе—въ случаѣ электродовъ, химически измѣняющихся. Примѣромъ перваго случая можетъ служить выдѣленіе свободнаго іода изъ іона іода у платиноваго анода, а примѣромъ втораго случая—раствореніе мѣди у анода при гальванопластикѣ или электролитической очисткѣ мѣди. При этомъ іоны сульфата SO_4^{--} движутся къ мѣди, но они тамъ не разряжаются, а вызываютъ образованіе іоновъ мѣди Cu^{++} изъ металлической мѣди Cu , съ которыми они и образуютъ сѣрнокислую мѣдь.

Далѣе, составляетъ весьма большую разницу, какъ практически, такъ и теоретически, остается ли продуктъ электрохимическаго процесса у электрода раствореннымъ въ электролитѣ, или онъ выдѣляется въ какой-нибудь твердой либо газообразной формѣ. Вторымъ случаемъ является наиболѣе удобнымъ и потому желательнымъ въ случаѣ приготовления препаратовъ электролитическимъ путемъ, ибо онъ даетъ возможность легко выдѣлить и собрать нужный продуктъ. Такъ, напримеръ, не представляетъ значительныхъ затрудненій раздѣлить и собрать кислородъ и водородъ, образующіеся при электролизѣ многихъ солей. Ибо когда продуктъ выдѣляется въ газообразной формѣ, а электролитъ остается жидкимъ, то вслѣдствіе большой разницы въ плотности, отдѣленіе совершается само собой. Въ такой же мѣрѣ не трудно собрать металлическую мѣдь, выдѣляющуюся при электролизѣ раствора мѣди между двумя мѣдными электродами, ибо въ такомъ случаѣ мѣдь выдѣляется на катодъ изъ раствора, между тѣмъ какъ отъ анода отдѣляется, переходя въ растворъ, такое же количество металла. Такъ какъ выдѣлившаяся мѣдь бываетъ обыкновенно очень чиста, даже въ тѣхъ случаяхъ, когда анодъ состоитъ изъ весьма нечистой мѣди, то этотъ простой процессъ является весьма важнымъ методомъ для полученія чистой мѣди.

Гораздо болѣе велики затрудненія въ случаѣ процесса въ жидкости, въ которой помѣщены электроды. Такія реакціи называютъ обыкновенно вторичными, а первичными называются простыя разряженія іоновъ безъ измѣненія химическаго ихъ состава. Они бываютъ до чрезвычайности многообразны и наступаютъ въ общемъ тогда, когда либо продукты разряженія іоновъ вообще не могутъ существовать безъ измѣненій химическаго состава, либо когда вещество разряженныхъ іоновъ само по себѣ можетъ существовать отдѣльно, но

въ жидкости находить такое вещество, съ которымъ оно реагируетъ химически. Примѣромъ этого могутъ служить и іонъ сульфата, который не можетъ существовать безъ заряда, и іонъ калия, разряженный продуктъ котораго, металлъ калий, разлагаетъ воду и потому рядомъ съ ней отдѣльно существовать не можетъ. Въ обоихъ случаяхъ образующіеся продукты, свободная серная кислота, съ одной стороны, и гидратъ окиси калия—съ другой, остаются растворенными въ жидкости, въ которой помѣщены электроды, и примѣшиваются здѣсь къ неразложенной части электролита.

Кромѣ этихъ случаевъ, сравнительно простыхъ, бываютъ еще случаи болѣе сложные, обусловленные тѣмъ, что, между состояніемъ едва освободившагося отъ своего заряда іона и описанными выше конечными состояніями реакціи съ растворителемъ, наступаютъ еще переходныя состоянія высшей свободной энергіи, существующія только временно и потому съ трудомъ поддающіяся опредѣленію. Доказательствомъ существованія ихъ служитъ тотъ фактъ, что вещества, выдѣляющіяся на электродахъ, обнаруживаютъ сначала другія, въ особенности, болѣе сильныя реакціи, чѣмъ въ обычномъ состояніи. Такъ, слабая соляная кислота выдѣляетъ на анодѣ не хлоръ, который первично долженъ былъ бы выдѣлиться, или дѣйствительно выдѣляется, а кислородъ; этотъ хлоръ, слѣдовательно, обладаетъ способностью разлагать воду, что обыкновенный хлоръ можетъ дѣлать только при содѣйствіи свѣта. Точно также кислородъ, выдѣляющійся изъ іона сульфата и подобныхъ содержащихъ кислородъ іоновъ, дѣйствуетъ на вещества, къ свободному кислороду не чувствительныя; другими словами, этотъ кислородъ имѣетъ болѣе высокую способность окисленія, чѣмъ свободный кислородъ. Въ случаѣ кислорода можно даже аналитически убѣдиться въ томъ, что первоначально обра-

зуются продукты высшей химической энергіи, чѣмъ обыкновенный конечный продуктъ, ибо если, произвести электролизъ при соотвѣствующихъ условіяхъ, именно при довольно низкой температурѣ, то вмѣсто обыкновеннаго кислорода образуется озонъ, который вслѣдствіе болѣе высокаго своего потенциала обладаетъ, какъ извѣстно, гораздо болѣе сильной окислительной способностью, чѣмъ обыкновенный кислородный газъ.

Всѣ эти явленія суть частные случаи одного весьма общаго закона. Согласно этому закону, образование, оставляющее какое-нибудь состояніе высшей свободной энергіи, переходитъ въ состояніе равновѣсія, при которомъ его свободная энергія является минимальной при существующихъ условіяхъ,—не скачками, а черезъ всѣ промежуточныя между ними состоянія. Правда, очень часто переходы эти совершаются настолько быстро, что они вовсе не поддаются наблюденію. Но если создать условія, при которыхъ тотъ или другой изъ нихъ становится болѣе длительнымъ (такова, на примѣръ, низкая температура озона), или при которыхъ одно изъ промежуточныхъ состояній можетъ вступить въ химическій процессъ, то существованіе ихъ подтверждается.

Есть одно общее средство, какъ узнать такія состоянія. Въ основѣ его лежитъ тотъ фактъ, что эти состоянія свободно измѣняются безъ всякаго электродвигательнаго дѣйствія. Чтобы сдѣлать простой или нормальный электролизъ,—т. е. электролизъ, практически свободный отъ такихъ переходныхъ состояній,—обратнымъ, необходимъ извѣстный минимальный избытокъ противодѣйствующей электродвижущей силы. Въ случаѣ же другихъ электролизовъ необходима значительно болѣе большая разлагающая сила, чѣмъ та, которую можно получить отъ реакціи въ гальваническомъ элементѣ. Примѣромъ перваго случая можетъ служить элементъ Даниэля. Здѣсь достаточенъ избытокъ напряженія

любой малой величины, чтобы пропустить через него токъ противоположнаго направленія, который растворилъ бы мѣдь и осадилъ бы цинкъ. Примѣромъ второго случая можетъ служить электролизъ разведенной сѣрной кислоты между платиновыми электродами, когда выдѣляются кислородъ и водородъ. Электродвижущая сила, развивающаяся въ элементѣ съ кислородомъ и водородомъ въ разведенной сѣрной кислотѣ съ платиновыми электродами, гдѣ на счетъ газовъ образуется вода,—меньше по величинѣ, чѣмъ электродвижущая сила, необходимая для электролиза разведенной сѣрной кислоты, и происходитъ это потому, что при электролизѣ образуются сначала,—въ особенности у электрода, гдѣ собирается кислородъ,—продукты высшаго потенциала.

Всѣ затрудненія подобнаго рода вмѣстѣ съ тѣмъ знаменуютъ собой такое же множество путей, по которымъ можно проникнуть въ частности и, слѣдовательно, въ „сущность“ явленій. Но надежной теоретической основой этого является ученіе о свободныхъ іонахъ.

Намъ остается, наконецъ, указать еще и на другой успѣхъ, которымъ мы обязаны этому ученію. Мы имѣемъ въ виду рационализацию аналитической химіи. Въ прежней своей формѣ, въ особенности въ эпоху господства болѣе стараго ученія о соляхъ, химія эта была почти что однимъ собраніемъ рецептовъ, найденныхъ многократными пробами, при полномъ невѣдѣніи о факторахъ рѣшающихъ. Вслѣдствіе этого существенное часто чередовалось въ ней съ несущественнымъ и, не будучи объединена одной рациональной связью и выведена изъ простыхъ и общихъ принциповъ, она предъявляла слишкомъ большія требованія къ памяти и слишкомъ много требовала упражненій. Коренной переворотъ здѣсь произвело ученіе о свободныхъ іонахъ, давъ теоретическое обоснованіе извѣстнымъ правиламъ и позволивъ установить общія

основанія для новыхъ методовъ. Рѣшительный шагъ былъ сдѣланъ Вильгельмомъ Оствальдомъ въ его небольшомъ сочиненіи „Научныя основы аналитической химіи“, первое изданіе котораго вышло въ 1894 году *), и въ которомъ было показано, какой свѣтъ новое ученіе вноситъ въ это старое искусство.

Чтобы наглядно представить себѣ, какъ великъ этотъ свѣтъ, достаточно вспомнить, что аналитическая химія оперируетъ, главнымъ образомъ, водными растворами, въ которыхъ изслѣдуемые вещества находятся, слѣдовательно, въ состояніи іоновъ. Отсюда всѣ извѣстныя реакціи анализа почти безъ всякаго исключенія суть реакціи іоновъ и только съ этой точки зрѣнія могутъ быть поняты. Такъ, напримѣръ, азотнокислое серебро есть реактивъ на хлористый натръ, ибо, попавъ въ одинъ растворъ, они даютъ бѣлый творожистый осадокъ хлористаго серебра. Аналитикъ знаетъ, что онъ тотъ же осадокъ получаетъ и съ другими хлоридами, но не со всѣми соединеніями хлора, ибо хлоратъ калия, напримѣръ, его не даетъ, и примѣсь къ этой соли хлористаго калия можно узнать именно по такому осадку. Точно также онъ знаетъ, что такой же осадокъ образуютъ и другія серебряныя соли, напримѣръ, сѣрно-кислая или уксуснокислая соли серебра, но что нѣкоторыя серебряныя соли, какъ, напримѣръ, $KAg(CN)_2$ не даютъ осадка. Всѣ эти факты ему раньше приходилось заучивать наизусть, каждый въ отдѣльности.

Въ настоящее же время извѣстно, что дѣло здѣсь сводится къ реакціи между іономъ хлора и іономъ серебра. Эта реакція наступаетъ всегда и безъ всякаго исключенія, когда эти два іона встрѣчаются въ растворѣ, и она всегда и безъ всякаго исключенія не наступаетъ, когда оба элемента, хотя и имѣются въ растворѣ, но одинъ изъ нихъ или оба—не въ видѣ элементар-

*) Русскій переводъ съ 5-го нѣмецк. изд. печатается. *Прим. пер.*

наго іона. Въ хлоратѣ калия хлоръ содержится въ видѣ составной части іона хлората ClO_3^- , а въ соли $KAg(CN)_2$ —серебро содержится, какъ составная часть іона ціанистаго серебра $Ag(CN)_2^-$, и именно поэтому реакція хлористаго серебра въ обоихъ случаяхъ не наступаетъ.

Точно также знали раньше, что хлористое серебро въ большинствѣ реактивовъ практически нерастворимо (въ дѣйствительности оно въ водѣ растворяется, но только съ трудомъ, и растворимость его, правда, весьма малая, поддается точному измѣренію), но что оно растворяется въ амміакѣ, въ ціанистомъ калиѣ, въ тіосульфатѣ натрія и еще въ нѣкоторыхъ другихъ веществахъ. И эти факты приходилось запоминать отдѣльно, и они получили объясненіе только черезъ ученіе о свободныхъ іонахъ. Дѣло въ томъ, что всѣ эти вещества образуютъ съ серебромъ соединенія (такъ называемыя, комплексныя соединенія), не содержащія іона серебра; элементъ этотъ содержится въ нихъ, какъ составная часть болѣе сложнаго или комплекснаго іона. Для того, чтобы твердое хлористое серебро оставалось въ равновѣсіи съ находящимся надъ нимъ воднымъ растворомъ, въ этомъ послѣднемъ должна быть извѣстная, весьма небольшая концентрація іона серебра и іона хлора. Когда же названныя вещества отнимаютъ іонъ серебра, переводя его въ комплексное соединеніе, то должно раствориться новое количество хлористаго серебра, которое въ свою очередь разлагается на свои два іона. Но іонъ серебра этого новаго количества опять переходитъ въ комплексное соединеніе, и этотъ процессъ продолжается до тѣхъ поръ, покуда либо хлористое серебро растворится все безъ остатка, либо растворитель весь будетъ использованъ.

И этихъ простѣйшихъ случаевъ достаточно, чтобы дать представленіе объ объединяющей и раціонализи-

рующей силѣ ученія о свободныхъ іонахъ. Но ихъ далеко недостаточно, чтобы показать, какъ свѣтъ этого ученія дѣйствительно проникаетъ во всѣ углы аналитической химіи и либо даетъ непосредственный отвѣтъ на самыя разнообразныя проблемы, либо показываетъ, по крайней мѣрѣ, какіе нужны эксперименты, чтобы получить данныя, необходимыя для такого отвѣта. Чтобы и на это дать хоть слабый намекъ, достаточно напомнить, что опредѣленіе сѣрной кислоты (т. е. іона сульфата) въ присутствіи солей окиси желѣза съ давнихъ поръ наталкивалось на затрудненіе, ибо всегда „увлекались“ извѣстныя количества окиси желѣза, отъ которыхъ нельзя было избавиться, и которыя въ значительной мѣрѣ нарушали точность опредѣленія. Когда же здѣсь было примѣнено ученіе о свободныхъ іонахъ (Кистеръ 1900), то вскорѣ удалось найти три различныхъ метода, устранявшихъ это зло, о которое разбивалась вся ловкость прежнихъ аналитиковъ. И этотъ примѣръ опять доказываетъ, что лучшая практика сводится къ хорошей теоріи.

Всѣ эти доказательства практической полезности новыхъ воззрѣній во всѣхъ областяхъ химіи вскорѣ убѣдили специалистовъ, отнесшихся къ нимъ сначала враждебно, въ томъ, что эти смѣлыя нововведенія не фантазіи, а вещи практическія, весьма и весьма богатые послѣдствіями. Въ настоящее время ученіе о свободныхъ іонахъ потеряло свой мѣстный характеръ, перестало быть ученіемъ лейпцигской школы, а съ наилучшимъ успѣхомъ введено уже повсемѣстно въ элементарное преподаваніе химіи. Внося свѣтъ во всѣ закоулки ея, уменьшая количество несвязанныхъ между собою фактовъ и тѣмъ облегчая работу памяти, ученіе это дѣлаетъ изученіе химіи болѣе интереснымъ, болѣе легкимъ и болѣе плодотворнымъ.

Глава десятая.

Современная электрохимическая промышленность.

Было уже указано, что основанная на электролизѣ электрохимическая техника, могла развиваться не раньше, чѣмъ стало возможно получение дешевой электрической энергіи механическимъ путемъ, т. е. не раньше, чѣмъ могла найти примѣненіе открытая Фарадеемъ электромагнитная индукція. Изобрѣтеніе принципа динамо-машинъ, въ которыхъ механическая энергія непосредственно превращается въ электрическую,—изобрѣтеніе, сдѣланное одновременно Вернеромъ Сименсомъ въ Германіи и Вильде въ Англіи,—само по себѣ было еще недостаточно для этого, ибо первыя машины работали еще довольно неэкономно. Только послѣ того, какъ были придуманы болѣе раціональныя формы отдѣльных частей машины, каковы, напримѣръ, якорь француза Грамма и итальянца Паччиноти, представилась дѣйствительная возможность раціональнаго использованія механической энергіи. Здѣсь завершился процессъ развитія, до мельчайшихъ подробностей напоминающій процессы, которыми шло, согласно нашимъ представленіямъ, развитіе видовъ въ мірѣ животныхъ. Первые аппараты изготовляются по аналогіи съ тѣмъ, что существуетъ, и въ нихъ переходить отъ этихъ образцовъ множество частей и приспособленій, не имѣющихъ никакого другого основанія для своего существованія, кромѣ того, что тамъ они были. Только

послѣ того, какъ убѣждаются, что дѣло дѣйствительно „идетъ“, т. е. послѣ того, какъ новая машина принципиально доказала свою жизнеспособность, начинается постоянный и непрерывный процессъ приспособленія, долженствующій выполнить двоякаго рода задачи.

Во-первыхъ, должны быть удалены заимствованныя, но ненужныя части. Для этого, естественно, прежде всего необходимо, чтобы было выяснено, что онѣ, дѣйствительно не нужны. Но такое уразумѣніе порой дается гораздо труднѣе, чѣмъ это думаютъ, ибо сохраненіе частей привычныхъ представляется, какъ нѣчто „само собой понятное“, т. е. какъ нѣчто, надъ чѣмъ вообще не задумываются. Такъ, всѣ техническія изобрѣтенія въ юношескомъ своемъ возрастѣ тащатъ съ собой подобнаго рода „рудиментарные органы“, пока не найдется человѣкъ, съ независимой мыслью и свободно экспериментирующій, который устранить ихъ,—разумѣется, при живомъ протестѣ людей консервативныхъ.

Вторая часть технического развитія заключается въ раздѣленіи и обособленіи функцій, которыя дѣлаются самостоятельными. Такъ напримѣръ, въ старомъ, вращающемся паровомъ шарѣ Герона, т. е. въ первой паровой машинѣ, о которой до насъ дошли извѣстія, функція парового котла и двигателя возлагались на одну и ту же часть машины, а регулятора пара и совсѣмъ не было. Современный же потомокъ ея, паровая турбина, состоитъ изъ отдѣльных котла и двигателя, и каждая изъ этихъ частей получила широкое отдѣльное развитіе примѣнительно къ ея функціи. Въ обыкновенной паровой машинѣ съ поршнемъ тотъ же процессъ совершился еще болѣе многообразно; здѣсь существуетъ самостоятельный конденсаторъ, вентиль, помѣщеніе для перегрѣтаго пара и т. д. Точно также и въ животномъ мірѣ важнѣйшими

признаками высшаго развитія являются раздѣленіе функций и самостоятельность отдѣльныхъ органовъ.

Направленіе развитія въ обоихъ случаяхъ опредѣляется правилами ученія объ энергіи. Всѣ физическіе процессы, какъ извѣстно, могутъ быть описаны, какъ превращенія опредѣленныхъ данныхъ видовъ энергіи въ опредѣленные другіе. Естественно, что подъ эту же общую схему можно подвести и процессы техническихъ. Техникѣ приходится исходить изъ данныхъ формъ энергіи, оказывающихся на лицо на земной поверхности и въ нѣдрахъ земли, и превращать ихъ въ желательныя формы энергіи, нужныя для человѣческихъ цѣлей. При этомъ никогда не удастся осуществить это превращеніе безъ остатка, а часть энергіи всегда переходитъ въ формы безполезныя и особенно часто въ разсѣивающуюся теплоту. Второй основной принципъ ученія объ энергіи указываетъ теоретическія границы, до которыхъ можетъ быть доведенъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія, т. е. отношеніе желательной формы энергіи ко всей затраченной энергіи. При этомъ оказывается, что такіе процессы, идеальные съ точки зрѣнія этого коэффициента ихъ, обладаютъ весьма плохимъ качествомъ: они происходятъ съ безконечно малой скоростью и, слѣдовательно, для человѣческихъ цѣлей вообще не пригодны. Если хотятъ ускорить процессъ, приходится затратить больше энергіи, чѣмъ это теоретически необходимо для процесса, и есть, поэтому, одна наилучшая величина, при которой выигрышъ въ скорости процесса какъ разъ покрывается излишкомъ затраченной энергіи.

Чтобы наглядно представить себѣ существующія здѣсь соотношенія, достаточно вспомнить, что для движенія любого груза по гладкой водной поверхности теоретически никакой работы собственно не требуется. Но безъ работы грузъ и не пришелъ бы въ движеніе,

и когда работа тратится на движеніе, то это послѣднее тѣмъ быстрѣе совершается, чѣмъ больше затрачивается работы. На современномъ океанскомъ пароходѣ или экспрессѣ эта работа, затраченная для полученія большой скорости, чрезвычайно велика, вслѣдствіе чего такіе способы передвиженія примѣняются только тамъ, гдѣ затраченная работа достаточно компенсируется экономіей времени.

Передъ техникой же стоитъ совершенно общая задача—получать желательныя энергіи возможно дешевле, т. е. съ наименьшей затратой энергіи сырья и энергіи производства. Задача эта—весьма сложная, ибо для такого превращенія энергіи необходима не только энергія, подлежащая переработкѣ, а необходимо еще безчисленное множество промежуточныхъ формъ въ видѣ машинъ, аппаратовъ, матеріала и рабочихъ рукъ. Всѣ эти энергіи имѣютъ свою различную цѣнность, и общая задача техники—регулировать всѣ эти процессы такъ, чтобы вся затраченная энергія, приходящаяся на единицу желательнаго результата, оказалась возможно меньше.

Очевидно, что такая проблема одно общее рѣшеніе имѣть не можетъ, а это рѣшеніе зависитъ отъ взаимнаго отношенія отдѣльныхъ величинъ, т. е. отъ условій ихъ въ данный моментъ, и измѣняется съ ихъ измѣненіемъ. Такъ, и электрохимическая промышленность, нуждавшаяся въ большихъ количествахъ электрической энергіи, была невозможна до тѣхъ поръ, покуда цѣна этой энергіи была высока.

Такъ какъ электрическая энергія получается изъ механической, а въ послѣднемъ счетѣ изъ химической энергіи каменнаго угля, то съ перваго взгляда можетъ показаться нецѣлесообразнымъ считаться съ крупными потерями при многократномъ превращеніи энергіи, ибо для осуществленія опредѣленнаго процесса теорети-

чески всегда требуется одно и то же количество всей энергии. Возьмемъ, на примѣръ, одну изъ важнѣйшихъ задачъ химической техники, именно процессъ разложения поваренной соли на ѣдкій натръ и соляную кислоту. Измѣривъ электродвижущую силу гальванической пары изъ кислоты и щелочи, не трудно опредѣлить, какъ велика свободная энергія ихъ соединенія, а слѣдовательно, и энергія, затрачиваемая на раздѣленіе ихъ. Эту энергію нужно во всякомъ случаѣ затратить, чтобы ихъ раздѣлить, и путь этого раздѣленія не играетъ здѣсь никакой роли, ибо этотъ путь не имѣетъ, какъ извѣстно, никакого вліянія на распредѣленіе свободной энергіи между двумя данными состояніями, а онъ именно этими состояніями, наоборотъ, опредѣляется.

Если вы продѣлаете всѣ вычисления и сравните полученный результатъ съ энергіей, дѣйствительно затраченной при одномъ изъ техническихъ процессовъ, по способу ли Леблана, или Сольвея, вы придете къ неожиданному результату.

Оказывается, что количество дѣйствительно затраченной энергіи несравненно больше теоретически вычисленнаго. По меньшей мѣрѣ, девять десятыхъ затраченной энергіи расходуется на такіе процессы, которые для главной цѣли совершенно не нужны, каковы, на примѣръ, потеря въ теплотѣ и т. п. Такимъ образомъ, количество энергіи, теоретически необходимой, составляетъ въ настоящее время лишь весьма небольшую часть дѣйствительно затрачиваемой, и вся эта большая разница обусловлена тѣмъ, что дѣйствительному процессу весьма еще далеко до теоретически совершеннаго процесса.

Отсюда понятно, почему можетъ еще оказаться выгоднымъ сначала превращать химическую энергію угля съ весьма большими потерями (по меньшей мѣрѣ, двухъ третей) въ механическую, а эту послѣднюю въ электри-

ческую (съ потерей только одной десятой доли) и, наконецъ, электрическую энергію—электролизомъ раствора поваренной соли—въ желательную химическую ея форму. Если эта послѣдняя форма составляетъ лишь половину, на примѣръ, теоретически вычисленной энергіи, то вся использованная энергія составляетъ болѣе одной седьмой затраченной ($\frac{1}{3} \times \frac{9}{10} \times \frac{1}{2}$), что сравнительно съ прежде использованной одной десятой частью представляетъ значительную экономію.

На этомъ основаніи можно сказать, что послѣдовавшее за послѣднее десятилѣтіе введеніе электрохимическихъ процессовъ въ крупную химическую промышленность нигдѣ почти не представляло собой принципиальнаго научнаго прогресса, а всегда только прогрессъ конструктивный, которымъ ограничивались весьма крупныя вторичныя потери энергіи. При этомъ часто случается, что вопросы, съ перваго взгляда какъ будто второстепеннаго значенія, которые научнаго экспериментатора едва могутъ заинтересовать, имѣютъ рѣшающее значеніе при техническомъ осуществленіи процесса. Ибо въ послѣднемъ случаѣ конечный результатъ, какъ показали только что приведенный схематическій примѣръ, представляется, какъ произведеніе ряда правильныхъ дробей, изъ которыхъ каждая выражаетъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія одного изъ требуемыхъ въ процессѣ превращеній энергіи. Какъ бы ни были близки къ единицѣ всѣ остальные множители, достаточно, чтобы одинъ изъ нихъ былъ малъ, равенъ, скажемъ, одной сотой долѣ, чтобы процессъ оказался невыгоднымъ, несмотря на большую величину всѣхъ остальныхъ множителей. Поэтому, всякій практический способъ только тогда можетъ быть признанъ технически выработаннымъ, когда ни одинъ изъ множителей не имѣетъ слишкомъ малой величины.

Съ другой стороны, провѣривъ эти отдѣльныя величины, можно рѣшить, въ какомъ именно пунктѣ необходимы улучшения. Они необходимы, конечно, тамъ, гдѣ множитель оказывается наименьшимъ. Если, на примѣръ, поднять эксплуатацію съ одного процента до двухъ, то общій коэффициентъ полезнаго дѣйствія тѣмъ самымъ удваивается, въ результатѣ чего техническое осуществленіе процесса можетъ стать возможнымъ. Если же поднять эксплуатацію на одинъ процентъ тамъ, гдѣ коэффициентъ полезнаго дѣйствія и безъ того высокъ, на примѣръ, съ пятидесяти процентовъ до пятидесяти одного процента, то общій коэффициентъ полезнаго дѣйствія возрастаетъ въ незначительной мѣрѣ (только на два процента).

Интереснѣйшій примѣръ въ этомъ родѣ представляетъ упомянутое уже выше разложеніе поваренной соли. Этотъ процессъ долженъ доставить тѣ огромныя количества свободной щелочи и свободного хлора, въ которыхъ столь нуждается техническая химія. Когда-то они получались чисто химическимъ путемъ: сначала приготавливали изъ сѣры сѣрную кислоту и съ ея помощью добывали соляную кислоту изъ поваренной соли, а эту кислоту обрабатывали перекисью марганца для полученія хлора. Образовавшійся одновременно съ этимъ сульфатъ натрія превращался накаливаніемъ съ углемъ и известковымъ камнемъ въ сульфидъ кальція и карбонатъ натрія, а этотъ послѣдній кипяченіемъ съ известью превращался въ ѣдкій натръ. Это былъ слишкомъ далекій окольный путь, но отдѣльные фазисы его, благодаря почти столѣтнему техническому опыту, были такъ хорошо разработаны, что пути болѣе короткіе, извѣстные уже въ то время и многократно испытанные, казались экономически менѣе выгодными. Но затѣмъ одинъ изъ этихъ болѣе короткихъ путей,—при посредствѣ амміака и соды,—былъ въ такомъ совер-

шенствѣ технически разработанъ Эрнстомъ Сольвеемъ, что онъ совершенно вытѣснилъ способъ Леблана. Но еще болѣе короткій путь представляетъ электролитическій способъ, развитый преимущественно въ Германіи, ибо онъ непосредственно ведетъ къ ѣдкому натру, водороду и хлору, изъ которыхъ первые два появляются на катодѣ, а послѣдній—на анодѣ. Однако, вопросъ о приѣмахъ осуществленія этого столь простаго электролитическаго способа оказался настолько труднымъ, что содовая промышленность, основанная на электролитическомъ способѣ, стала на ноги лишь по истеченіи цѣлаго ряда лѣтъ.

Первое затрудненіе заключается въ электродахъ. Вопросъ о катодѣ быстро исчерпывается, ибо желѣзо, у котораго должны выдѣляться щелочь и водородъ, имѣется въ вполнѣ достаточномъ количествѣ. Въ качествѣ анода физикъ беретъ платину. Промышленникъ этого сдѣлать не можетъ, ибо это требовало бы очень большихъ затратъ. Поэтому, пользовались для этого сначала углемъ [изготовленію его для электродовъ научилъ еще Бунзенъ (см. стр. 160)], а тамъ, гдѣ уголь оказался анодомъ недостаточно стойкимъ, стали пользоваться вмѣсто него металлическими окисями.

Второе затрудненіе заключается въ томъ, что продукты электролиза примѣшиваются къ электролиту и измѣняютъ процессъ. И этому горю научная техника давно нашла средство помочь: между обоими электродами помѣщаютъ пористую стѣнку. Но ученый изслѣдователь доволенъ уже, когда эта стѣнка продержится нѣсколько часовъ или дней. Техника же не можетъ удовлетвориться такимъ краткимъ срокомъ: ей нужна стѣнка, которая продержалась бы, по меньшей мѣрѣ, мѣсяцы, а еще лучше годы. И вотъ, съ одной стороны, конструировались такія пластинки, а съ другой—достиг-

нута была возможность обходиться безъ нихъ. Для этого помѣщали электроды другъ надъ другомъ, такъ что анодный растворъ, который становится менѣе плотнымъ, остается плавать надъ катодной жидкостью, которая становится плотнѣе, а нежелательныя послѣдствія отъ движенія іоновъ предупреждаются медленнымъ теченіемъ всей жидкости. Въ третьихъ, воспользовались явленіемъ, констатированнымъ уже Берцеліусомъ и Дэви, а именно, что ртутный катодъ поглощаетъ металлическій натрій. Образующаяся амальгама можетъ быть разложена водой; образуются водородъ и гидратъ окиси натрія, а ртуть восстанавливается.

По этимъ тремъ методамъ въ настоящее время приготавливаются огромныя количества ѣдкаго натра и хлора. Водородъ, который раньше пропадалъ, какъ никому ненужный остатокъ, въ настоящее время неожиданно получилъ большее значеніе, служа для наполненія воздушныхъ кораблей.

Болѣе специфическій электрохимическій характеръ имѣетъ полученіе алюминія и магнія, такъ какъ для этой цѣли непосредственныя химическія реакціи оказываются несостоятельными. Въ качествѣ общаго химическаго средства для полученія металловъ изъ ихъ солей служить углеродъ, — или непосредственно, или вмѣстѣ съ кислородомъ. Но окиси алюминія и магнія настолько постоянны, что онѣ не могутъ быть разложены углеродомъ, не могутъ, по крайней мѣрѣ, при технически достижимыхъ температурахъ. И вотъ здѣсь-то дѣлу помогаетъ энергія электрическая. Желая получить алюминій изъ естественной окиси его, вы прибѣгаете къ помощи углерода. Однако, если вы помѣстите въ ванну расплавленныхъ соединений алюминія одну только палочку углерода, то разложеніе не послѣдуетъ, но оно послѣдуетъ, если сюда присоединится еще электрический токъ извѣстнаго напряженія. Какъ и въ

обыкновенномъ процессѣ восстановленія, здѣсь образуется металлическій алюминій и окись углерода. Но въ то время, какъ въ другихъ случаяхъ эти два вещества существуютъ рядомъ, здѣсь алюминій собирается у катода, а кислородъ у анода, и если этотъ послѣдній сдѣлать изъ угля, то онъ соединяется съ освобождающимся кислородомъ съ соотвѣтственнымъ ослабленіемъ напряженія, которое требовалось бы, если бы кислородъ улетучивался въ видѣ газа ¹⁾.

Цѣнность энергіи въ коммерческомъ отношеніи становится ясной, если сравнить относительно высокія цѣны металлическаго алюминія и магнія съ чрезвычайно низкими цѣнами ихъ окисей или солей, въ каковомъ видѣ они встрѣчаются въ природѣ. Разница въ цѣнѣ обусловлена прежде всего значительно большимъ содержаніемъ энергіи, присущимъ свободнымъ металламъ. Это концентрированное содержаніе энергіи эксплуатируется и технически: въ случаѣ магнія — въ видѣ сильнаго свѣта при сгораніи, а въ случаѣ алюминія — въ различныхъ смѣсяхъ, носящихъ названіе термита. Это

1) Внимательный читатель, можетъ быть, замѣтитъ здѣсь, что соединеніе кислорода съ углемъ есть, вѣдь, здѣсь вторичная реакція и потому электродвижущей силы дать не можетъ. Но такое заключеніе было бы неправильно, ибо и вторичныя реакціи даютъ электродвижущую силу; большинство, такъ называемыхъ, деполяризаторовъ суть вещества, вызывающія вторичныя реакціи. Важна здѣсь исключительно скорость процесса: только если эта скорость велика, процессъ оказываетъ вліяніе и на напряженіе электрическаго тока. Объясняется этотъ фактъ, съ перваго взгляда какъ будто парадоксальный, тѣмъ, что каждое вещество можетъ дать въ зависимости отъ своей концентрации цѣлый рядъ различныхъ электродвижущихъ силъ. Въ случаѣ медленнаго вторичнаго процесса, первичный продуктъ накапливается настолько, что онъ оказываетъ рѣшительное вліяніе на напряженіе тока; въ случаѣ же болѣе быстраго процесса первичный продуктъ, напротивъ, такъ быстро разрушается, что въ каждый данный моментъ его концентрація ничтожно мала и на напряженіе никакого вліянія имѣть не можетъ.

примѣненіе было найдено Гольдшмитомъ, и состоитъ оно въ томъ, что порошокъ алюминія смѣшивается съ окисями металловъ различнаго рода, и смѣсь зажигается. Съ переходомъ кислорода къ алюминію, который характеризуется весьма высокой теплотой сгорания, выдѣляется на очень небольшомъ пространствѣ очень значительное количество теплоты, при чемъ, съ одной стороны, съ трудомъ восстанавливающіяся окиси металловъ восстанавливаются въ металлы, а съ другой стороны, достигаются весьма значительныя мѣстные нагрѣванія. Вы имѣете, такъ сказать, въ жилетномъ карманѣ доменную печь и краснокалильный жаръ. Преимущество этого примѣненія энергіи сравнительно съ обычнымъ способомъ нагрѣванія—сжиганіемъ угля—въ томъ именно состоитъ, что энергія гораздо точнѣ дозируется въ пространствѣ и во времени, благодаря чему удается достигъ лучшихъ результатовъ, чѣмъ грубымъ методомъ сжиганія угля на воздухѣ.

Далѣе, названные металлы находятъ примѣненіе не только, какъ источники энергіи, но еще какъ легкій и сравнительно прочный матеріалъ для различныхъ конструктивныхъ цѣлей. Дѣло въ томъ, что тягучіе и твердые металлы, которыми пользовались раньше, принадлежали всѣ къ типу тяжелыхъ металловъ, и при механическихъ ихъ преимуществахъ значительный вѣсъ составлялъ большой недостатокъ. Что этотъ недостатокъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ оказывался довольно значителенъ, ясно изъ того, что котелъ и паровыя машины парохода занимаютъ много драгоценнаго мѣста и составляютъ значительную часть всего груза парохода. Еще болѣе бросается въ глаза этотъ недостатокъ на управляемыхъ воздушныхъ шарахъ: вѣдь, постройка ихъ, по крайней мѣрѣ отчасти, только съ тѣхъ поръ и стала возможной, какъ стали пользоваться для этого легкимъ металломъ алюминіемъ. Но

за послѣднія десять лѣтъ часто стали употреблять въ технику подъ различными названіями и сплавы изъ алюминія и магнія. Сплавы эти обладаютъ, повидимому, еще лучшими свойствами, чѣмъ чистые металлы, подобно тому, какъ латунь, сплавъ изъ цинка и мѣди, тоже обладаетъ лучшими свойствами, чѣмъ чистые цинкъ и мѣдь.

Такого же свойства и техническое значеніе карбида кальція, соединенія изъ кальція и углерода. Впервые открытое еще Вёлеромъ, оно стало доступно технической выработкѣ только при помощи электрическаго тока. Какъ это констатировали независимо другъ отъ друга Вильсонъ и Муассанъ, соединеніе это образуется изъ извести и угля при очень сильномъ нагрѣваніи при помощи электрическаго тока. Здѣсь электролиза нѣтъ а токъ служитъ лишь въ качествѣ источника теплоты, чтобы нагрѣть оба вещества до температуры, необходимой для процесса. Все дѣло въ томъ, что для полученія столь высокой температуры нѣтъ другого, технически осуществимаго, средства, кромѣ электрическаго тока. Такимъ образомъ, и въ данномъ случаѣ дѣло сводится къ очень значительной концентраціи энергіи. Общеизвѣстно, что печи, на которыхъ получается карбидъ, поглощаютъ огромное количество энергіи.

Этотъ избытокъ энергіи въ карбидѣ кальція проявляется, съ одной стороны, въ томъ, что онъ съ водой образуетъ газообразный ацетиленъ, теплота сгорания котораго значительно больше какъ суммы теплотъ сгорания его элементовъ, такъ и теплоты сгорания другихъ углеводородныхъ соединений. Въ этомъ заключается причина, почему ацетиленъ при сгораніи даетъ столь сильный свѣтъ, на чемъ основано, какъ извѣстно, главное примѣненіе карбида. Пламя его имѣетъ гораздо болѣе высокую температуру, чѣмъ пламя другихъ углеводоро-

довъ. Но въ этомъ и причина того, почему ацетиленъ, въ особенности въ жидкомъ состояніи, есть крайне опасное взрывчатое вещество (даже безъ всякаго присутствія кислорода). Дѣло въ томъ, что избытокъ энергіи очень легко освобождается, и ацетиленъ распадается на свои элементы (или на соединенія, бѣдныя энергіей).

Другимъ послѣдствіемъ избытка энергіи является то, что карбидъ кальція легко соединяется съ свободнымъ азотомъ (который иначе трудно заставить вступить въ какое-либо соединеніе). Свободный азотъ имѣется, какъ извѣстно, въ нашемъ распоряженіи въ безпредѣльномъ количествѣ въ атмосферномъ воздухѣ и, поэтому, почти что никакой цѣны не имѣетъ, между тѣмъ какъ связанный азотъ;—будь то въ амміакѣ или въ азотной кислотѣ,—есть вещество довольно дорогое: килограммъ стоитъ около 45 коп. И здѣсь разница въ цѣнѣ выражаетъ цѣнность энергіи, затраченной на то, чтобы связать азотъ. И энергія въ карбидѣ кальція можетъ быть затрачена на то, чтобы связать свободный азотъ. Получающійся отсюда продуктъ, открытый Франкомъ и Каро, служить средствомъ для удобренія, ибо во влажномъ воздухѣ онъ выдѣляетъ свой азотъ въ видѣ амміака—вещества, которое можетъ быть ассимилировано растеніями. Значеніе этихъ формъ энергіи съ точки зрѣнія экономической достаточно ясно иллюстрируется тѣмъ фактомъ, что прогрессъ въ области земледѣлія зависитъ прежде всего отъ полученія связаннаго азота по дешевой цѣнѣ.

Параллельно съ этимъ способомъ использованія свободного азота существуетъ еще другой способъ, начало которому положили старые опыты Кэвендиша (см. стр. 31). Мы имѣемъ въ виду соединеніе составныхъ частей воздуха при помощи электрическаго разряда. И въ этомъ случаѣ здѣсь нѣтъ никакого электролиза, а

есть только химическій процессъ, происходящій вслѣдствіе значительнаго повышенія температуры. Уже Кэвендишъ нашелъ, что искра должна быть сдѣлана возможно болѣе сильной, т. е., что каждый разрядъ выдѣляетъ довольно значительное количество энергіи. Въ настоящее время для полученія разрядовъ пользуются, конечно, не электрической машиной, а токами высокаго напряженія, и современная техника даетъ цѣлый рядъ различныхъ формъ этихъ разрядовъ въ зависимости отъ характера машинъ, которыми для этого пользуются. Электрическимъ разрядомъ воздухъ очень сильно нагревается, и при этихъ условіяхъ составныя части его, кислородъ и азотъ, вступаютъ между собой въ соединеніе. При медленномъ охлажденіи соединеніе это распадается, ибо оно можетъ существовать только при высокой температурѣ. Но если охлажденіе происходитъ быстро,—что на самомъ дѣлѣ и получается само собой вслѣдствіе нитевидной, большей частью, формы разряда,—то значительная часть соединенія остается неразложеной, потому что при болѣе низкой температурѣ скорость распада становится столь малой, что соединеніе практически можетъ считаться устойчивымъ.

Изъ энергіи, которая затрачивается при этомъ синтезѣ, только самая малая часть переходитъ въ соединеніе; значительно болѣе большая же часть ея служитъ для того, чтобы нагрѣть воздухъ до требуемой высокой температуры. Не трудно замѣтить, что здѣсь возникаетъ техническая проблема—использовать эту теплоту съ какимъ-нибудь токомъ противоположнаго направленія. Рѣшеніе этой проблемы особенно затрудняется тѣмъ, что условія разложенія продукта требуютъ возможно болѣе быстрого охлажденія въ первыя стадіи.

Оглянемся на современное состояніе технической электрохиміи въ широкомъ смыслѣ, т. е. съ точки зрѣнія общей проблемы использованія электрической энер-

гии для химических цѣлей. Не трудно видѣть, что передъ нами лишь первые начатки отрасли техники съ очень богатымъ будущимъ. Гдѣ-то было замѣчено, что современное развитіе научной электрохиміи, при всѣхъ огромныхъ успѣхахъ съ точки зрѣнія научной, принесло технику весьма мало, ибо техника эта всѣ или большинство своихъ проблемъ рѣшила безъ помощи теоріи свободныхъ іоновъ и электролитическаго давленія раствора. Съ этимъ нельзя не согласиться. Причина этого заключается въ томъ, что технику вообще удалось использовать технически только самыя старыя открытія электрохиміи—электролизъ солей, выдѣленіе металловъ и т. п. Этотъ фактъ имѣетъ свое вѣское основаніе въ томъ обстоятельстве, что наличность дешевой электрической энергіи есть вообще приобрѣтеніе новѣйшаго времени, и что основныя формы техническаго использованія этой энергіи для процессовъ химическихъ только должны быть найдены. Мы оставляемъ въ сторонѣ вопросъ, сколько открытій еще для этого требуется. Къ тому же и здѣсь проявится, вѣроятно, общій законъ природы, по которому простѣйшее будетъ найдено лишь въ концѣ. Можно, поэтому, заранѣе предсказать, что только послѣ того, когда достаточно разовьются болѣе сложныя проблемы технической электрохиміи, техника сумѣетъ использовать и прогрессъ науки послѣднихъ десятилѣтій. Ибо такъ какъ техническій опытъ не внесъ никакихъ существенно новыхъ точекъ зрѣнія въ научную электрохимию, то отсюда слѣдуетъ сдѣлать выводъ, что причина, почему учение о свободныхъ іонахъ не принесло никакой пользы технику, лежитъ не въ состояніи науки, а въ состояніи техники.

Въ заключеніе остается еще замѣтить, что изъ весьма многообразныхъ техническихъ примѣненій электрохиміи въ настоящей книгѣ рассмотрѣна лишь небольшая часть.

О нѣкоторыхъ важныхъ отрасляхъ промышленности, каковы, напримѣръ, полученіе чистой мѣди, приготовленіе хлоратовъ, хроматовъ и другихъ соединений и т. д., мы не сказали ни слова, потому что никакихъ новыхъ замѣчаній общаго характера о нихъ дѣлать не приходится.

Глава одиннадцатая.

Электронъ.

Въ одной рѣчи, произнесенной въ 1879 году въ честь Фарадея, Гельмгольцъ высказалъ мысль, что электричество имѣетъ, вѣроятно, атомистическое строение, т. е. что существуетъ-де очень небольшое количество электричества, которое въ такой же мѣрѣ не можетъ быть раздѣлено на еще меньшія части, какъ невозможно раздѣлить на меньшія части атомъ. Онъ пришелъ къ этой мысли, исходя изъ существованія закона Фарадея. Онъ представлялъ себѣ, что всѣ вещества въ дѣйствительности имѣютъ атомистическое строение, т. е. состоятъ изъ атомовъ вѣсмага вещества различнаго рода (соотвѣтственно различію элементовъ). Въ соотвѣтствіи съ этимъ онъ рисовалъ себѣ, что и іоны состоятъ изъ такихъ мельчайшихъ матеріальныхъ частичекъ, изъ которыхъ каждая снабжена мельчайшей частицей (или нѣсколькими такими частицами, смотря по валентности вещества) электричества, какъ солдатъ ружьемъ.

Очевидно, что эта только одна изъ многихъ существующихъ здѣсь возможностей. Можно также представить себѣ, что каждый атомъ или іонъ снабженъ однимъ или нѣсколькими сосудами для электричества — сосудами равной величины и потому могущими вмѣстить всегда только равное количество электричества. Въ такомъ случаѣ это послѣднее было бы дѣлимо до

безконечности, и тѣмъ не менѣе, мы тоже имѣли бы наглядное представленіе о значеніи и примѣненіи закона Фарадея.

Изъ этихъ представленій, представленіе, которое предпочелъ Гельмгольцъ, именно атомистическое, въ наши дни оказалось весьма полезнымъ. Болѣе того, оно получило значеніе, выходящее далеко за предѣлы первоначально предположеннаго. Въ настоящее время многіе превосходные ученые изслѣдователи рассматриваютъ это мельчайшее, не поддающееся дальнѣйшему дѣленію количество электричества, — успѣвшее получить названіе электрона, — какъ послѣдній реальный остатокъ, къ которому приводитъ анализъ не только электрическихъ явленій, но и явленій свѣтовыхъ и даже анализъ всѣхъ вообще вѣсомыхъ веществъ. Другими словами, они представляютъ себѣ, что весь физическій міръ построенъ изъ электроновъ.

Необходимо при этомъ имѣть въ виду, что дѣло идетъ здѣсь не объ элементарномъ количествѣ электрической энергіи, а только о, неподдающемся дальнѣйшему дѣленію, количествѣ электричества, одномъ изъ множителей, входящемъ въ составъ электрической энергіи. Количество же энергіи электрона зависитъ еще отъ потенціала, или напряженія его количества электричества, а для него предѣла дѣленія еще не найдено.

Первоначально представленіе, развитое Гельмгольцемъ, было еще весьма гипотетично, на что онъ самъ указывалъ. Основываясь на допущеніяхъ кинетической теоріи газовъ, были опредѣлены извѣстныя величины газовъ, въ особенности постоянныя ихъ внутренняго тренія, а также ихъ теплопроводности и диффузии, и отсюда были вычислены числа молекулъ въ данномъ объемѣ при опредѣленныхъ условіяхъ. Числа эти имѣютъ, слѣдовательно, такое значеніе: если прини-

маются допущенія кинетической теоріи газовъ, то для того, чтобы получить наблюденную величину внутренняго тренія, слѣдуетъ допустить, что въ данномъ объемѣ содержится такое-то количество молекулъ. Независимаго или въ особенности прямого доказательства правильности теоріи газовъ въ то время не было. Но изъ другихъ независимыхъ измѣреній и соотвѣстныхъ допущеній были тоже получены величины для числа и размѣровъ молекулъ, настолько совпадавшія съ тѣми, которыя были вычислены изъ тренія, что лучшаго и ожидать нельзя было. Если это и не было еще доказательствомъ правильности кинетической теоріи, то это было уже доказательствомъ ея цѣлесообразности: вѣдь, совпаденіе-то это доказывало, что между этими различными явленіями на самомъ дѣлѣ существуютъ связи въ родѣ тѣхъ, какія были допущены, хотя оно и не доказывало того, что та особая форма, въ которой эти связи были допущены, есть форма единственно возможная.

Измѣренія же дали тотъ результатъ, что въ каждомъ «молѣ» содержится 10^{24} молекулъ, независимо отъ природы вещества. Модемъ называется такое количество граммовъ даннаго газа, сколько въ его молекулярномъ вѣсѣ содержится единицъ (т. е. 32 грамма кислорода, 2 грамма водорода и т. д.); согласно теоріи газовъ, моли различныхъ газовъ содержатъ равное количество частицъ. Число это (10^{24}), правда, очень велико, но далеко не настолько, чтобы его нельзя было себѣ представить. Если вообразить себѣ, что водяная капля разбухла до величины земного шара, то молекулы, изъ которыхъ она состоитъ, оказались бы не больше кегельнаго шара умѣренной величины. Болѣе точныя измѣренія новѣйшаго времени опредѣлили это число въ $0,705 \times 10^{24}$.

Съ другой стороны, эквивалентъ въ 1 граммъ какого-

либо одновалентнаго іона увлекаетъ съ собой количество электричества въ 96.540 кулоновъ. Такъ какъ осмотическое давленіе іоновъ таково, что каждый іонъ долженъ считаться за 1 молекулу (см. стр. 183), то отсюда слѣдуетъ, что съ каждымъ (атомистически представленнымъ) іономъ связанъ электрическій зарядъ въ $96.540 : 0,705 \times 10^{24} = 1,37 \times 10^{-19}$ кулона. Согласно идеѣ Гельмгольца, эта величина и есть элементарное количество электричества, не поддающееся дѣленію, т. е. электрическій атомъ, или электронъ.

Разсмотримъ теперь пути, которыми изъ этихъ разсужденій,—сначала скорѣе математическаго, чѣмъ физическаго характера, —развилась физическая теорія электрическаго атома, или электрона.

Сначала эти пути шли до извѣстной степени параллельно путямъ, которыми была найдена теорія свободныхъ іоновъ электролитовъ. Общимъ исходнымъ началомъ для нихъ служили явленія электропроводности. Рѣчь идетъ здѣсь только объ электропроводности не въ проводникахъ перваго класса, или металлахъ, и не въ проводникахъ втораго класса, или электролитахъ, а въ проводникахъ новаго, третьяго класса, къ которымъ не находятъ примѣненія законы ни того, ни другаго класса. Это—электропроводность въ газахъ.

Обыкновенный воздухъ относится, какъ извѣстно, къ не-проводникамъ. Будь его электропроводность не больше электропроводности чистой воды (которая очень мала), мы, вѣроятно, ничего и не знали бы объ электрическихъ явленіяхъ, ибо электрическая энергія, гдѣ бы она ни образовалась, всегда разряжалась бы черезъ воздухъ, и накопленіе болѣе или менѣе значительныхъ количествъ ея было бы практически дѣломъ невозможнымъ. Точное изслѣдованіе, однако, показало, что воздухъ обладаетъ нѣкоторыми слѣдами электропровод-

ности, поддающимися измѣренію, а при извѣстныхъ условіяхъ онъ можетъ обладать даже значительной электропроводностью. Такъ, газы пламени и дымъ проводятъ электричество, о чемъ было извѣстно уже въ XVIII столѣтіи. Проводить электричество и воздухъ, который прошелъ надъ тлѣющимъ фосфоромъ и т. д. Въ новѣйшее время установлено, что лучи Рентгена и радиоактивныя вещества тоже въ значительной мѣрѣ дѣлаютъ воздухъ хорошимъ проводникомъ электричества. Наконецъ, хорошимъ средствомъ для этого является разрѣженіе воздуха, правда, только для электричества высокаго напряженія. Общеизвѣстны очень красивыя явленія разряда электричества въ гейслеровыхъ трубкахъ съ весьма разрѣженнымъ воздухомъ.

Сколько ни работали надъ изслѣдованіемъ этихъ вещей, что-нибудь общее и окончательное установить не удалось. Объясняется это, главнымъ образомъ, чрезвычайнымъ многообразіемъ явленій, вслѣдствіе котораго слишкомъ трудно точно установить условія каждаго опредѣленнаго случая, чтобы можно было воспроизвести его и продѣлать нужныя измѣренія. Только одинъ основной фактъ ясно намѣчается во всемъ этомъ многообразіи—фактъ, открытый еще Вильгельмомъ Гитторфомъ въ 1869 году. Заключается онъ въ томъ, что въ помѣщеніи съ разрѣженнымъ воздухомъ отъ катода отходятъ въ прямомъ направленіи лучи, представляющіе собой электрическій разрядъ особаго рода. Лучи эти перпендикулярны къ катоду, и тамъ, гдѣ они выступаютъ, они освобождаютъ довольно значительное количество энергіи, проявляющейся, — въ зависимости свойствъ поверхности, на которую они падаютъ, — въ видѣ свѣтовыхъ или тепловыхъ явленій. Эти катодные лучи образуются только тамъ, гдѣ воздухъ очень разрѣженъ. Сначала наполняется соотвѣт-

ствующимъ голубоватымъ свѣтомъ только небольшая область у катода; съ дальнѣйшимъ разрѣженіемъ воздуха эта область становится все больше и больше, пока, наконецъ, она не достигаетъ противоположной стѣнки. Стекло задерживаетъ эти лучи, но само начинаетъ свѣтиться или фосфоресцировать. Но черезъ окошко изъ очень тонкаго алюминія лучи проходятъ, и физику Ленару удалось пропустить ихъ черезъ алюминиевое окошко, — соотвѣтственнымъ образомъ продѣланное въ такой гейслеровой трубкѣ, — въ свободную атмосферу. Но въ свободной атмосферѣ лучи сейчасъ же тухнутъ, отдавая свою энергію воздуху, который при этомъ становится хорошимъ проводникомъ электричества. Оказалось, что въ той или другой степени проницаемы для катодныхъ лучей и всѣ другія вещества; сопротивление, которое эти вещества оказываютъ имъ, пропорціонально плотности веществъ.

Этотъ результатъ не могъ не показаться весьма страннымъ. До сихъ поръ была извѣстна только одна пропорціональность этого рода, именно между массой и вѣсомъ тѣла. Масса опредѣляется скоростью, съ которой движется данное тѣло, приведенное въ движеніе данной энергіей; она есть причина, почему небольшой камень движется быстрѣе, чѣмъ большой, если только бросить ихъ съ одной и той же силой. Вѣсъ же выражаетъ работу, необходимую для удаленія тѣла отъ центра земного шара. Взаимная пропорціональность этихъ двухъ величинъ есть фактъ, до сихъ поръ не нашедшій еще достаточнаго объясненія. Находитъ онъ выраженіе въ общеизвѣстномъ законѣ, что всѣ тѣла (если отвлечься отъ вліяній вторичнаго характера) падаютъ съ равной скоростью. Химическія, электрическія, термическія или иныя какія либо различія не имѣютъ на это соотношеніе ни малѣйшаго вліянія, въ то время какъ всѣ другія свойства тѣла

зависятъ отъ химической ихъ природы и другихъ формъ энергіи, имъ присущихъ.

Изъ этого факта можно было сдѣлать тотъ вѣроятный выводъ, что проявляющаяся въ катодныхъ лучахъ энергія либо есть сама энергія движенія, либо съ ней тѣснѣйшимъ образомъ связана.

И, дѣйствительно, въ послѣдствіи оказалось, что катодные лучи суть отрицательные электроны, отходящіе отъ катода съ чрезвычайной скоростью, достигающей скорости свѣта, и способные проникать сквозь вещества, благодаря своей энергіи движенія. При этомъ энергія ихъ превращается въ другія формы энергіи, а такъ какъ интенсивность ея необычайно высока, то при этомъ возникаютъ процессы, которые другими энергіями менѣе высокаго напряженія вызваны быть не могутъ.

Но пока все это было выяснено, научному изслѣдованію пришлось совершить весьма длинный путь, исторія котораго весьма многообразна и сложна. Намъ придется ограничиться характеристикой важнѣйшихъ этаповъ, но за то основныя черты этого чрезвычайно интереснаго процесса выступать тѣмъ яснѣе.

Великій успѣхъ, которымъ ознаменовалось примѣненіе теоріи свободныхъ іоновъ для объясненія электропроводности въ жидкостяхъ, навелъ на мысль примѣнить тѣ же воззрѣнія и для объясненія электропроводности въ газахъ. Однако, первоначально эти двѣ области оказались до такой степени различными, что о непосредственномъ перенесеніи данныхъ одной области въ другую, не могло быть и рѣчи. Потребовалась многолѣтняя и кропотливая работа для установленія фактическихъ отношеній между обѣими областями и для созданія представленія объ электропроводности въ газахъ, столь же опредѣленнаго, какъ представленіе объ электропроводности въ жидкостяхъ. Больше всего заслугъ въ этой области принадлежитъ англійскому

физику, Джемсу Томсону въ Кэмбриджѣ. Онъ сумѣлъ не только внести много свѣта въ эту область собственными своими работами и идеями, но и заинтересовать своими изслѣдованіями значительное число учениковъ и такимъ образомъ впервые въ области физики (въ области химіи это было сдѣлано Уильямомъ Рамсеемъ) создать въ Англіи школу, въ которой предметомъ изученія служилъ, — кромѣ современнаго состоянія науки, — самый методъ изслѣдованія. Что работѣ изслѣдованія дѣйствительно можно научиться, было открыто за полъ-вѣка въ Германіи, и Либихъ далъ первый и до сихъ поръ не превзойденный еще примѣръ огромнаго вліянія такого учителя.

Томсонъ прежде всего доказалъ, что и электропроводность въ газахъ есть дѣйствительное распространеніе электричества черезъ газъ, а не „разсѣиваніе“ его черезъ посредство пыли или т. п., какъ это до тѣхъ поръ принималось. Правда, эта электропроводность опредѣляется существенно другими законами, чѣмъ до сихъ поръ извѣстные виды ея. Происходитъ это оттого, во-первыхъ, что проводящія части, или іоны, распределены въ газахъ гораздо болѣе экономно, чѣмъ въ растворахъ. Во-вторыхъ, концентрація іоновъ не имѣетъ здѣсь, какъ въ растворахъ, опредѣленной величины, не зависящей въ общемъ ни отъ времени, ни отъ самого процесса распространенія электричества, а, напротивъ, именно этотъ существенно важный факторъ непрерывно измѣняется въ газахъ. Іоны газовъ имѣютъ тенденцію къ исчезновенію. Проявляется это въ весьма слабой электропроводности обыкновеннаго воздуха. Послѣдняя должна была бы быть весьма велика, если бы іоны газа, созданные всевозможными причинами, такъ же оставались въ воздухѣ, какъ растворенныя минеральныя вещества остаются растворенными въ водномъ океанѣ. Въ этомъ заключается первая причина,

почему электропроводность данной массы газа не остается постоянной, а непрерывно ослабѣваетъ. Вторая причина заключается въ томъ, что вслѣдствіе бѣдности газовъ іонами, эти послѣдніе, благодаря электропроводности, въ большомъ количествѣ истрачиваются, такъ что газъ во время эксперимента быстро бѣднѣетъ ими, и его электропроводность еще болѣе уменьшается. Поэтому, объ электропроводности въ томъ смыслѣ, какъ она бываетъ въ жидкостяхъ, здѣсь вообще не можетъ быть и рѣчи, потому что токъ вовсе не пропорціоналенъ напряженію (какъ этого требуетъ законъ Ома), а возрастаетъ медленнѣе, чѣмъ оно. Напротивъ, здѣсь не трудно достичь другого предѣльнаго случая, взявъ постоянный источникъ новыхъ іоновъ и настолько увеличивъ напряженіе, чтобы всѣ вновь возникающіе іоны истрачивались на движеніе тока. Тогда сила тока зависитъ только отъ количества полученныхъ въ единицу времени іоновъ и вовсе не зависитъ отъ напряженія. Ею измѣряется не количество остающихся іоновъ, какъ въ случаѣ электролита, а скорость ихъ образованія. Такой токъ называется токомъ насыщенія.

Послѣ того, какъ были выяснены общія явленія электропроводности, оказалось необходимымъ отвѣтить на вопросъ, зависятъ ли іоны отъ химическихъ свойствъ газа, въ которомъ они образуются. Отвѣтъ, который былъ полученъ до сихъ поръ, нельзя назвать весьма опредѣленнымъ. Въ различныхъ газахъ наблюдались различія, но эти послѣднія не весьма велики, и связь ихъ съ особыми химическими свойствами газовъ обнаружилась весьма неясно. Здѣсь передъ нами химическая проблема, которая ждетъ еще своего рѣшенія.

Зато былъ успѣшно рѣшенъ другой вопросъ основного значенія. Дѣло въ томъ, что если до сихъ поръ говорилось объ электропроводности черезъ посредство іоновъ, то этимъ выходили уже собственно за предѣлы

того, что вытекало изъ обсуждаемыхъ фактовъ, ибо принципиально электропроводность въ такой же мѣрѣ могла считаться прерывной, какъ и непрерывной. Въ явленіяхъ, которыя рассматривались до этихъ поръ, нѣтъ ничего, что указывало бы на какое-либо дѣленіе электричества или вѣсомыхъ веществъ, и какъ не было необходимости считать электропроводность металловъ атомистической или прерывной, такъ не было здѣсь необходимости принимать обратное. Томсонъ обратился, поэтому, къ явленіямъ, которыя могли бы ему дать непосредственный отвѣтъ на вопросъ: непрерывно или прерывно? Онъ нашелъ отвѣтъ на этотъ вопросъ въ области, какъ будто весьма отсюда отдаленной.

Когда влажный воздухъ охлаждается, то, согласно обычному ученію, наступаетъ, какъ извѣстно, образованіе водяныхъ капель въ формѣ тумана, если частичное давленіе водяныхъ паровъ стало меньше, чѣмъ соответствующее данной температурѣ давленіе паровъ воздуха. Можно также подтвердить эту теорію, наливъ въ стеклянку немного воды такъ, чтобы воздухъ въ ней могъ насытиться водяными парами, и затѣмъ охладивъ его внезапнымъ разрѣженіемъ. Воздухъ въ стеклянкѣ наполняется туманомъ, если аппаратъ едва только былъ собранъ.

Если его оставить собраннымъ до слѣдующаго дня и повторить опытъ, то умѣренное разрѣженіе воздуха совсѣмъ не даетъ тумана. Извѣстно и то, почему это происходитъ: за этотъ день всѣ пылинки, носящіяся въ воздухѣ, осѣли и потому не могутъ служить центрами для образованія водяныхъ капелекъ. Очень небольшая капелька воды, вслѣдствіе своей энергіи поверхности, обладаетъ гораздо болѣе высокимъ давленіемъ паровъ, чѣмъ большая капля или плоская водная поверхность. Поэтому, такая капелька при небольшомъ охлажденіи образоваться не можетъ, ибо ея давленіе паровъ

все еще больше давленія паровъ въ воздухѣ. Пылинки же были насыщены влагой и дѣйствовали, поэтому, такъ, какъ соотвѣтственно большія капли воды.

И вотъ, если въ такое воздушное пространство, свободное отъ пылинокъ, ввести іоны газовъ, то они дѣйствуютъ такъ, какъ пылинки, т. е. снова наступаетъ легкое сгущеніе, выражающееся въ видѣ образованія тумана. Чѣмъ это объясняется, можетъ быть здѣсь указано только въ общихъ чертахъ; дѣло идетъ здѣсь о дѣйствіи электрическаго заряда іоновъ, которое стремится распространиться и потому образованіемъ воды содѣйствуетъ увеличенію своего носителя.

Принципиально же важное значеніе въ этомъ явленіи имѣетъ то обстоятельство, что образуются отдѣльныя капельки. Ибо отсюда приходится сдѣлать тотъ выводъ, что причины, дѣйствующія конденсирующимъ образомъ, существуютъ въ отдѣльныхъ точкахъ пространства, т. е. что вызывающіе конденсацію электрическіе заряды имѣютъ опредѣленное мѣстное расположеніе или атомистическое строеніе. Другими словами, мы имѣемъ здѣсь доказательство того, что въ іонахъ газа передъ нами дѣйствительно индивидуализированные пункты дѣйствія, а не причина, равномерно распределенная въ пространствѣ ¹⁾.

Если можно видѣть іоны, то можно ихъ и сосчитать. Туманъ, правда, указываетъ только на существованіе пространственныхъ различій. Существуютъ, однако, оптическія и другія средства для опредѣленія размѣровъ его частичекъ. Таковымъ является, между прочимъ, характерное кольцо, образуемое вокругъ свѣтовой точки, если смотрѣть на нее сквозь туманъ.

¹⁾ Можно, правда, и представить себѣ, что только въ моментъ образованія воды количества электричества разбиваются на отдѣльные заряды.

Кольцо это бываетъ больше или меньше въ зависимости отъ характера тумана, и на основаніи размѣровъ его можно судить и о свойствахъ тумана. Вотъ этимъ и нѣкоторыми другими путями Томсону и его ученику, Вильсону удалось опредѣлить, сколько существуетъ отдѣльныхъ іоновъ въ данномъ количествѣ проводящаго электричества газа при данныхъ условіяхъ.

Съ другой стороны, удалось измѣрить и весь электрическій зарядъ, уносимый этими іонами. Если все количество электричества раздѣлить на число іоновъ, то получается зарядъ одного газового іона. Зарядъ этотъ оказался нѣсколько большимъ 10^{-19} кулона, т. е. величина его совпала съ элементарнымъ количествомъ электричества, полученнымъ на основаніи закона Фарадея и кинетической теоріи газовъ.

Значеніе этого результата нельзя не оцѣнить весьма высоко, ибо оно является весьма удивительнымъ доказательствомъ индивидуальнаго существованія газовыхъ іоновъ. Допущеніе ихъ атомистическаго строенія приходится, поэтому, признать не только вѣроятнымъ или цѣлесообразнымъ, но и удовлетворяющимъ всѣмъ требованіямъ науки. Защитникъ же непрерывности этихъ явленій былъ бы поставленъ предъ задачей показать, какъ изъ непрерывнаго основнаго явленія объяснить прерывное образованіе отдѣльныхъ капелекъ. Нельзя утверждать съ абсолютной увѣренностью, что это совершенно невозможно. Съ другой стороны, можно сказать и такъ, что допущеніе атомистическаго строенія настолько непосредственно и просто даетъ отчетъ о наблюдаемыхъ явленіяхъ, что противорѣчило бы принципу экономіи науки не пользоваться этимъ допущеніемъ, по крайней мѣрѣ, до тѣхъ поръ, покуда оно будетъ сохранять свою цѣлесообразность предъ лицомъ новыхъ фактовъ.

Разъ извѣстенъ уже зарядъ одного іона, можно воспользоваться этой величиной, чтобы изучить другія его свойства. Такъ, напримѣръ, можно заставить дѣйствовать на іоны электростатическое поле и измѣрять движенія, которыя они совершаютъ подъ этимъ дѣйствіемъ. Вѣдь, это поле должно дѣйствовать на заряды притягивающимъ или отталкивающимъ образомъ, а зная дѣйствующія здѣсь силы, можно вычислить и движущіяся массы, если измѣрить пріобрѣтенныя ими скорости.

То, что стало извѣстно этимъ путемъ о величинѣ іоновъ, въ настоящее время не приведено еще въ достаточный порядокъ. Есть іоны легкіе и тяжелые; но если надѣялись найти здѣсь молекулы химиковъ, хорошо извѣстныя по своему вѣсу, то надежда эта не оправдалась. Та же неопредѣленность, которая обнаружилась въ отношеніи химическихъ свойствъ газовыхъ іоновъ, проявилась и здѣсь, такъ что внесеніе свѣта и въ эту область есть тоже дѣло будущаго.

Только въ отношеніи одного рода іоновъ были получены опредѣленные результаты, которые опять, впрочемъ, ведутъ не къ молекуламъ химика, а въ новый міръ, до сихъ поръ неизвѣстный еще. И именно это есть пунктъ, гдѣ описанныя здѣсь изслѣдованія совпадаютъ съ тѣми, о которыхъ мы рассказали выше и въ другой связи. Рѣчь идетъ опять о катодныхъ лучахъ.

Практически эти лучи обнаруживаютъ свойства электрическаго тока и именно въ томъ отношеніи, что они отклоняются магнитами, согласно электродинамическимъ законамъ. Опытами Роуланда въ лабораторіи Гельмгольца было давно уже доказано, что движущіея электростатическіе заряды обнаруживаютъ въ этомъ отношеніи такія же свойства, какъ и то, что носить названіе обыкновеннаго электрическаго тока. Поэтому, ничто не мѣшало разсматривать катодные

лучи, какъ группу заряженныхъ электричествомъ частичекъ, или іоновъ. Возникъ только вопросъ объ ихъ величинѣ и другихъ свойствахъ. Необходимыя данныя были получены опредѣленіемъ отклоненія, которое испытываютъ катодные лучи подъ дѣйствіемъ магнитныхъ и электрическихъ полей. Результатъ получился тотъ, что масса электроновъ въ очень много разъ меньше массы вѣсовыхъ молекулъ. Были получены величины, приблизительно въ тысячу разъ меньшія массы одного атома, и, слѣдовательно, въ двѣ тысячи разъ меньшія массы одной молекулы водорода.

Но, далѣе, приходится считаться со слѣдующимъ обстоятельствомъ. Скорость составныхъ частей катодныхъ лучей, или электроновъ, чрезвычайно велика. Но электрическая частичка, пролетающая черезъ пространство, оказываетъ электродинамическое дѣйствіе на само пространство. Дѣйствіе это незначительно мало, покуда скорость движенія гораздо меньше скорости распространенія электродинамическаго дѣйствія (которая, согласно открытію Герца, совпадаетъ со скоростью свѣта). Но когда скорость движенія этой частички приближается къ скорости свѣта, то дѣйствіе становится замѣтнымъ и по формѣ своей проявляется такъ, какъ будто бы частичка имѣла опредѣленную массу, оказывающую по извѣстнымъ законамъ сопротивленіе измѣненію скорости. Когда же это дѣйствіе было вычислено изъ измѣренной скорости катодныхъ лучей (Кауфманнъ), то оказалось, что вся „масса“ электроновъ имѣетъ такое электродинамическое происхожденіе, такъ что электронъ вообще никакой вѣсомой части не содержитъ. Здѣсь, слѣдовательно, передъ нами явленіе, отличающееся отъ всѣхъ нашихъ установленныхъ до сихъ поръ макроскопическихъ фактовъ опыта: индивидуально существующая частичка энергіи,

не связанная съ вѣсомымъ веществомъ или „матеріей“, а существующая независимо отъ него.

Этотъ результатъ можетъ оказать весьма значительное вліяніе на всю совокупность нашихъ представлений о свойствахъ и характерѣ „дѣйствительнаго“ во внѣшнемъ мірѣ. Вспомнимъ, что философія Декарта находилась всецѣло подъ вліяніемъ открытій въ области механики Галилея и послѣдующихъ ученыхъ; что Кантъ создалъ свою философію по схемѣ ученія Ньютона о притяженіи, и что нѣмецкіе натуръ-философы начала XIX столѣтія заимствовали свои представления изъ полярныхъ свойствъ электрическихъ процессовъ. Если мы все это вспомнимъ, нельзя будетъ не согласиться съ тѣмъ, что въ изложенныхъ здѣсь данныхъ передъ нами матеріалъ для построения новой теоріи міра—теоріи электродинамической. И, дѣйствительно, этотъ новый фазисъ духовнаго развитія уже начался, и электродинамическое обоснованіе механики считается въ настоящее время весьма возможнымъ, послѣ того какъ механическое обоснованіе электродинамики оказалось дѣломъ не осуществимымъ.

Каково же значеніе электронной теоріи для электрохиміи? Здѣсь приходится сказать слѣдующее: она даетъ, правда, наглядное представление о природѣ и строеніи іоновъ, въ отличіе отъ не-электрическихъ, или нейтральныхъ веществъ, но она до сихъ поръ не навела на слѣдъ новыхъ фактовъ или закономерностей въ тѣсной области электрохиміи. Если мы будемъ разсматривать электронъ, какъ количество электричества, связанное съ одновалентнымъ, отдѣльнымъ іономъ, то связь вѣсимаго атома (или атомной группы) съ электрономъ можно представлять себѣ совершенно такъ, какъ химическое соединеніе, и, подобно тому, какъ хлоръ + водородъ есть нѣчто совсѣмъ другое, чѣмъ

одинъ хлоръ, а именно соляная кислота, такъ и хлоръ + электронъ есть нѣчто совсѣмъ другое, чѣмъ одинъ хлоръ, а именно іонъ хлора. Элементы, которые особенно легко и охотно переходятъ въ состояніе іоновъ, какъ щелочные металлы и фторъ, имѣютъ очень сильное сродство къ электрону. Это значитъ, что, соединяясь съ нимъ, они теряютъ большія количества энергіи, которыми можно совершить другую работу. То же количество работы должно быть снова затрачено, чтобы отдѣлить отъ нихъ электронъ. Вотъ почему такъ трудно получать элементарный фторъ или калий. Съ другой стороны, золото или іодъ крайне неохотно вступаютъ въ соединеніе съ электрономъ и, чтобы достичь этого, необходимо затратить работу. Этимъ объясняется легкое разложеніе соотвѣтствующихъ соединеній. Если элементъ или группа содержатъ нѣсколько валентностей, то они соединяются съ двумя, тремя и т. д. электронами—разумѣется, того же знака, ибо будь они различныхъ знаковъ, мы имѣли бы нейтрализацию. Такъ какъ электронъ недѣлимъ, то въ соединеніе должны вступать цѣлыя числа, кратныя одновалентнаго заряда. Необходимость этого вытекаетъ, впрочемъ, уже изъ того общаго факта, что никогда при химическихъ процессахъ не появляются электрическіе заряды, т. е. что существующія положительныя и отрицательныя количества электричества всегда нейтрализуются безъ остатка.

Остается сказать еще нѣсколько словъ о знакѣ электрона. Первоначально онъ былъ извѣстенъ только въ формѣ катодныхъ лучей и равныхъ имъ по значенію β -лучей радиоактивныхъ веществъ (о нихъ см. ниже). Такъ какъ эти лучи имѣютъ обыкновенно знакъ отрицательный, то казалось вѣроятнымъ допущеніе, что существуетъ вообще только отрицательное электричество, а, такъ называемое, положитель-

ное электричество есть не что иное, какъ вѣсомое вещество или объемъ минусъ электронъ. Подобный взглядъ защищалъ еще Франклинъ въ XVIII столѣтіи съ той только разницей, что онъ считалъ реальнымъ положительное электричество, — вѣроятно, только потому, что иначе у него не было бы опредѣленнаго основанія, чтобы назвать его положительнымъ. Оказалось, что съ этой точки зрѣнія электрическія явленія могутъ быть описаны довольно удовлетворительнымъ образомъ. Къ тому же положительные газовые іоны были найдены сравнительно позднѣе. Въ новѣйшее же время неоднократно дѣлались заявленія, будто бы удалось доказать положительные электроны, но эти заявленія и по сію пору не подтвердились еще вполне однозначнымъ образомъ. На этомъ основаніи положительные электролитическіе іоны рассматриваются въ настоящее время, не какъ соединенія, а какъ вещества съ извѣстными минусами.

Въ этихъ предѣлахъ представленія достаточно еще просты. Но уже Гельмгольцъ высказалъ въ упомянутой выше рѣчи въ честь Фарадея ту мысль, что и обыкновенныя химическія соединенія находятся подъ дѣйствіемъ единицъ электрическаго заряда или электроновъ. Этимъ онъ до извѣстной степени вернулся къ точкѣ зрѣнія Берцелиуса (см. стр. 83) съ той только разницей, что онъ не допустилъ существованія электрическихъ зарядовъ разнообразной величины, подобно Берцелиусу, а принялъ существованіе одной или нѣсколькихъ единицъ заряда, смотря по валентности. Прежде всего такое объясненіе почти необходимо для твердыхъ солеобразныхъ соединеній, которыя при раствореніи или плавленіи распадаются на іоны. Ибо невозможно допустить, что электроны образуются изъ ничего, а они должны входить въ составъ соединенія и выступать только со своими электрическими свой-

ствами, когда іонизаціей ихъ взаимная нейтрализація нарушается. Если, далѣе, выставить тотъ принципъ, что каждое вещество обладаетъ въ каждомъ мѣстѣ возможностью іонизаціи, то нельзя не придти къ выводу, что необходимо распространить ученіе объ электронахъ на всю совокупность химическихъ соединений. Пары атомовъ, которыя образуютъ молекулы большинства элементарныхъ газовъ, пришлось бы тогда, можетъ быть, объяснять такъ, что каждый атомъ имѣетъ какъ положительный, такъ и отрицательный электронъ (или нѣсколько паръ ихъ), и что въ парѣ атомовъ положительный электронъ одного соединенъ съ отрицательнымъ электрономъ другого и наоборотъ.

Но признаніе этихъ взглядовъ не имѣетъ еще въ настоящее время особаго значенія для научнаго изслѣдованія. Дѣло обстоитъ здѣсь приблизительно такъ, какъ оно обстояло съ молекулярной теоріей Авогадро и Ампера около того времени, когда она была выставлена. Она объясняла, правда, то, для чего она была придумана, именно объемныя отношенія газобразныхъ соединеній. Но она не устанавливала никакихъ дальнѣйшихъ связей съ другими свойствами соответственныхъ веществъ, и потому въ ней не видѣли дѣйствительнаго прогресса. Только по истеченіи нѣсколькихъ десятилѣтій, когда были установлены такія связи съ систематикой органическихъ соединеній, теорія эта возродилась и встрѣтила достойную оцѣнку.

Съ другой стороны, электронная теорія оказалась примѣнимой въ иной области, представляющей тоже достояніе нашихъ дней. Это — область радиоактивныхъ веществъ. Рѣчь идетъ здѣсь, какъ извѣстно, объ элементахъ и соединеніяхъ, въ другихъ отношеніяхъ ничѣмъ не отличающихся отъ извѣстныхъ до сихъ поръ. Обладаютъ они только тѣмъ специальнымъ свойствомъ, что непрестанно освобождаютъ энергію,

превращаясь при этомъ въ другія вещества, другого элементарнаго характера. Другими словами, къ нимъ уже не примѣнимъ законъ сохраненія элементовъ, по крайней мѣрѣ, если признавать за элементы тѣ вещества, которыя до сихъ поръ принимались за таковыя. Эта выделяющаяся энергія является въ нѣсколькихъ формахъ; часть ея является и въ видѣ катодныхъ лучей, т. е., быстро движущихся отрицательныхъ электроновъ, и соответственными приемами можетъ быть въ концѣ концовъ превращена въ теплоту.

Электрическая природа катодныхъ лучей доказала, что явленія радиоактивности принципиально должны быть отнесены къ электрохиміи. Но они вовсе не принадлежать къ ея исторіи. Болѣе того, въ настоящее время нѣсколько трудно даже ихъ вообще и принципиально ввести въ предѣлы современной науки. Если же мы упомянули о нихъ здѣсь, то только для того, чтобы указать на склонность современной науки къ созданію электрической теоріи не только химическихъ явленій, но и механическихъ и физическихъ вообще. Что касается, въ частности, природы радиоактивныхъ элементовъ, то Джемсъ Томсонъ пытался объяснить ея тѣмъ, что онъ представлялъ ихъ, какъ очень сложныя образованія, состоящія изъ электроновъ положительныхъ и отрицательныхъ, вращающихся въ вихревомъ движеніи другъ около друга въ различныхъ положеніяхъ относительнаго равновѣсія. Эти состоянія равновѣсія становятся неустойчивыми при малѣйшемъ отклоненіи отъ нормальныхъ путей, и атомъ взрывается, выделяетъ обыкновенно нѣкоторые электроны, а остатокъ снова приходитъ въ состояніе устойчиваго равновѣсія.

Вспомните рядомъ съ этимъ намѣченное на стр. 246 электродинамическое обоснованіе механики, вспомните другія новѣйшія воззрѣнія въ физикѣ, согласно кото-

рымъ масса и энергія разсматриваются, какъ понятія равнаго измѣренія (ихъ численныя величины связаны между собой черезъ квадратъ скорости свѣта),—и вы согласитесь съ тѣмъ, что развитіе науки достигло пункта, въ которомъ предстоитъ коренной переворотъ во всѣхъ научныхъ воззрѣніяхъ. Переворотъ этотъ,—въ этомъ нѣтъ ни малѣйшаго сомнѣнія!—окажется не меньше, чѣмъ тотъ, которымъ ознаменовались открытіе Ньютономъ всемірнаго тяготѣнія и введеніе его теоріи притяженія. Углубленное же знакомство съ путемъ, которымъ шло развитіе науки въ прошедшемъ, дастъ намъ возможность избѣгнуть слишкомъ значительныхъ блужданій въ поискахъ пути ея развитія въ будущемъ.

5-
5655/14

„МОГИЗ“ № 28
ц. 5 р.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

	СТР.
Глава первая. Введеніе	3
Глава вторая. Доисторическая эпоха электрохиміи . . .	23
Глава третья. Гальвани и Вольта	43
Глава четвертая Риттеръ и Дэви	65
Глава пятая. Отъ Фарадея и Даніэля до Гитторфа и Кольрауша	91
Глава шестая. Электродвижуція силы	110
Глава седьмая. Начатки технической электрохиміи. . .	148
Глава восьмая. Вантъ-Гоффъ и Арреніусъ	165
Глава девятая. Ученіе о свободныхъ іонахъ.	187
Глава десятая. Современная электрохимическая про- мышленность	216
Глава одиннадцатая. Электронъ	232

(М)
19

3- ИЮЛ 1947